

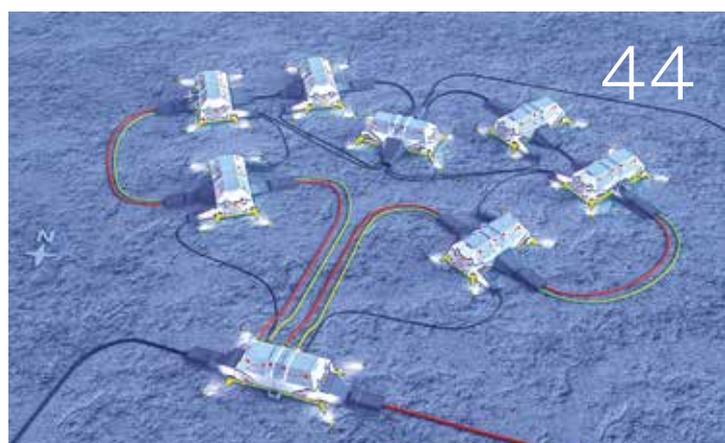
review

01|2020 es

Un mañana inspirador



-
- 06–17 **Lo más destacado en innovación**
 - 18–41 **El futuro digital**
 - 42–60 **Rendimiento extremo**





La coinnovación añade valor a la automatización



Turbocompresor A200-H de una sola etapa



La transformación digital

05 Editorial

Lo más destacado en innovación en 2020

08 Breve descripción de una serie de innovaciones

El futuro digital

20 La transformación digital

24 Repensar la innovación

30 OPC UA y TSN

36 La coinnovación añade valor a la automatización

Rendimiento extremo

44 Electrificación submarina

50 Conversión de energía submarina

56 Turbocompresor A200-H de una sola etapa

Desmitificación de términos técnicos

62 Fabricación aditiva

63 Consejo editorial



Controlador de robots OmniCore™

El tema de este número, centrado en la innovación, es «Un mañana inspirador» porque la innovación no se reduce a plantear una idea nueva o buena, sino que requiere visión, flexibilidad, resiliencia, seguimiento, iteración incesante y, quizá lo más importante, un enfoque claro y específico hacia la resolución de problemas reales y la creación de oportunidades reales. Las experiencias de los clientes e investigadores de ABB ofrecen muchos de estos detalles que pueden servirle de inspiración. Como siempre, sus comentarios son bienvenidos.

abb.com/abbreview

EDITORIAL

Un mañana inspirador



Estimado/a lector/a:

Se dice que si le enseñas a un hombre a usar un martillo, él tratará cada problema como si fuera un clavo. Es una afirmación acertada, y lo es aún más si se trata de una máquina. La clásica producción en serie se basa en operaciones muy repetitivas y crea productos muy uniformes. Pero en el mundo en sentido más amplio, muchos problemas y requisitos no son uniformes, sino variables e incluso arbitrarios. La producción en serie se ha basado a menudo en homogeneizar artificialmente los parámetros y requisitos (menor elección para los clientes), y la mano de obra manual se ha mantenido cuando no se ha podido lograr tal uniformidad.

En el contexto de la Cuarta Revolución Industrial, los procesos de producción dependen cada vez más de dispositivos y sistemas que pueden reconocer una amplia gama de situaciones y problemas de manera autónoma, y también adaptarse a ellos de manera autónoma (o, en su defecto, alertar a una persona). Este número de ABB Review está dedicado a los productos, servicios y soluciones que lideran, permiten o ejemplifican esta transición.

Que disfrute de la lectura.

Bazmi Husain
Director de Tecnología

Lo más destacado en innovación en 2020



13



10



08

ABB sigue ampliando los límites de lo posible, y no se conforma con eso, sino que hace que los resultados sean fiables, seguros y rentables. Ya se trate de circuitos de carreras o de fábricas y astilleros, lo posible siempre va camino de convertirse en lo necesario y factible.

- 08 La inteligencia artificial y la robótica: una fórmula para fábricas flexibles
- 09 Robots: con la vista puesta en las cadenas finales de montaje de automóviles
- 10 ABB amplía la gama de potencias de Azipod® para transbordadores y buques RoPax
- 11 El controlador de robots OmniCore™, nominado al premio IERA a la innovación
- 12 Un sistema de electrificación submarina permite al sector del petróleo y el gas aventurarse en las profundidades marinas
- 13 Interruptor de CC ultrarrápido de alta corriente basado en la electrónica de potencia
- 14 Una aplicación para detección de anomalías que ayuda a los robots a reducir el tiempo de inactividad
- 15 EC Titanium: motor y accionamiento inteligentes integrados
- 16 Software de tercera generación para recogida y empaquetado que reduce los tiempos de puesta en servicio de días a horas
- 17 A200-H: la nueva referencia en turbocompresión de una sola etapa



LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LA ROBÓTICA: UNA FÓRMULA PARA FÁBRICAS FLEXIBLES

La combinación de inteligencia artificial (IA) y robótica puede mejorar sustancialmente la flexibilidad de la automatización de las fábricas, mediante la sustitución de las aplicaciones rígidas por capacidades de aprendizaje. Con esta potente combinación de tecnologías se pueden ampliar las funciones de los robots, mejorando así la productividad, haciendo el trabajo más seguro y acelerando la producción. La gama de aplicaciones de ABB en este ámbito incluye el uso de la IA para permitir a los robots detectar y responder a su entorno, inspeccionar y analizar defectos, y optimizar los procesos de forma autónoma.

Por ejemplo, los robots equipados con sensores de visión pueden utilizar la IA para identificar objetos independientemente de su posición, mientras que los algoritmos de aprendizaje automático (machine learning) permiten a los robots determinar la mejor trayectoria y las mejores posiciones de agarre para coger objetos.

La IA también permite a los robots inspeccionar y analizar una amplia gama de objetos –las costuras de soldadura son un caso concreto (gráfico)– para detectar defectos y problemas de calidad. Esto se logra mediante una combinación de sensores de visión y aprendizaje supervisado, es decir, formación mediante ejemplos.

Y cuando se trata de la optimización autónoma de procesos, nada iguala a ABB Ability™ Connected Atomizer, el primer atomizador de pintura robótico, conectado y equipado con sensor, que permite realizar diagnósticos inteligentes en tiempo real y optimizar la calidad de la pintura. Al controlar el estado de variables clave como la aceleración, la presión, la vibración y la temperatura, el atomizador reduce los residuos internos durante los cambios de color en un 75 %, y el consumo de aire comprimido en un 20 %.

ABB también está aplicando algoritmos de IA al análisis del comportamiento de las prensas y los robots en las líneas de prensado y estampado para minimizar los tiempos de espera de los equipos. Mediante la adopción de un enfoque holístico, un algoritmo de control identifica cuellos de botella y gestiona los tiempos de arranque y parada de robots y prensas, haciendo así las líneas más estables y predecibles. •



ROBOTS: CON LA VISTA PUESTA EN LAS CADENAS FINALES DE MONTAJE DE AUTOMÓVILES

Las plantas de producción de vehículos suelen dar una imagen de automatización avanzada, con líneas de robots soldando una carrocería tras otra. Pero no todos los aspectos de la fabricación de vehículos están tan avanzados tecnológicamente. El montaje final es un ejemplo claro. En este caso, la complejidad de procesos como el cableado, la instalación de asientos y la inserción del puesto de conducción exigen unas manos diestras.

No obstante, los ingenieros de ABB están desarrollando técnicas que permitirán a los robots realizar una serie de tareas iniciales en este ámbito. Es probable que el aspecto más difícil de tal desafío sea el hecho de que durante el montaje final, las carrocerías de los vehículos se desplazan constantemente en sentido lineal. Para abordar esta dificultad, un robot asociado al proceso se guía por una combinación de sensores visuales y de control de fuerza en tiempo real, en lugar de moverse según una trayectoria programada.

Para completar una tarea de montaje en un entorno tan inestable, el primer paso es que el robot se sincronice con el movimiento lineal de la cadena de montaje. Esto se realiza mediante el seguimiento de cintas transportadoras convencionales o utilizando tecnología de seguimiento AGV (vehículos guiados automáticamente). El seguimiento AGV, que también se puede usar en cintas transportadoras convencionales, se basa en el seguimiento visual en tiempo real de códigos de barras bidimensionales de alto rango, conocidos como «AprilTags». Un AprilTag se monta normalmente en el dispositivo equipado con AGV que transporta un vehículo, mientras que la cámara de seguimiento está fija en el suelo o en el pie del robot, cuando el robot está montado en un eje lineal.

Una vez que un robot se ha sincronizado con el movimiento de un vehículo concreto, comienza a realizar una tarea de montaje mientras efectúa un seguimiento continuo de las características naturales del área de montaje en cuestión con una funcionalidad desarrollada por ABB conocida como «Real-Time On-Board Vision», que va instalada en la

pinza del robot. La información que ofrece este sistema de visión se combina con los datos de retroalimentación continua suministrados por un sensor de control de fuerza que se instala entre la muñeca y la pinza del robot.

La combinación de la guía de visión a bordo en tiempo real y la manipulación con control de fuerza (fusión de sensor) es la clave para llevar a cabo con éxito un proceso de montaje determinado. Los casos de aplicación pilotos están actualmente en curso, en coordinación con un importante fabricante de automóviles. Por ejemplo, hay plantas alemanas y chinas que realizan en la actualidad operaciones de montaje del puesto de conducción del vehículo. La experiencia adquirida en estas y otras instalaciones es, en potencia, fácilmente aplicable a otros ámbitos del montaje de automóviles, así como a otros entornos de fabricación caracterizados por el continuo movimiento de los elementos objetivo. •



ABB AMPLÍA LA GAMA DE POTENCIAS DE AZIPOD® PARA TRANSBORDADORES Y BUQUES ROPAX

Desde su lanzamiento en 1990, la propulsión eléctrica Azipod se ha convertido en el punto de referencia del sector para una amplia gama de buques, desde embarcaciones pequeñas hasta rompehielos. En respuesta a las peticiones de los clientes, ABB ha llenado el vacío existente entre los propulsores Azipod de baja y alta potencia con el lanzamiento de una nueva serie disponible en la gama de 7,5 a 14,5 MW. Además de los transbordadores y los buques RoPax (transbordadores de pasajeros de carga rodada), esta gama de potencias también se utiliza para buques de construcción en alta mar, cruceros de tamaño medio y buques «lanzadera». Con esta incorporación, la familia de propulsión Azipod cubre ahora de forma flexible la gama de potencias de 1 a 22 MW.

En el centro de la nueva gama de media potencia se encuentran los últimos motores de imanes permanentes de cuarta generación de ABB, que utilizan tecnologías de propulsión Azipod probadas, pero perfeccionadas para aumentar la potencia y maximizar la eficiencia. La simplicidad del diseño del sistema de

propulsión aumenta la solidez y la fiabilidad, y facilita el mantenimiento.

Por otro lado, esta serie «M» de propulsión Azipod está adaptada para ofrecer beneficios operativos a los propietarios y operadores de transbordadores y RoPax. Por ejemplo, la nueva serie está diseñada para una baja altura a bordo, lo que permite que el sistema Azipod se coloque bajo la cubierta de los buques RoPax destinada a vehículos, de modo que no se ocupa espacio en la cubierta y no se obstaculiza el movimiento de los mismos.

Basada en los principios de diseño sencillo, sólido y de fácil mantenimiento que se ha aplicado a la propulsión Azipod seleccionada en 25 tipos de buques durante casi tres décadas, la última serie de media potencia llega al mercado en un momento en el que los propietarios de transbordadores y buques RoPax se enfrentan a una mayor presión para mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones. •



EL CONTROLADOR DE ROBOTS OMNICORE™, NOMINADO AL PREMIO IERA A LA INNOVACIÓN

OmniCore™ de ABB, la nueva generación de controladores de robots diseñados para las fábricas flexibles del futuro, ha sido finalista del premio IERA (siglas en inglés de «Inventoría y Emprendimiento en Robótica y Automatización») de 2019. Considerado uno de los premios más importantes del sector de la robótica, IERA reconoce a empresas e inventores que convierten ideas innovadoras en productos que cambian el mercado. El premio lo conceden la Federación Internacional de Robótica (IFR) y la IEEE Robotics and Automation Society.

Los controladores de robots de ABB ya son reconocidos por su precisión de recorrido y la duración del ciclo, los mejores de su categoría. Al desarrollar OmniCore, ABB se basó en estas características al tiempo que creaba un nuevo controlador que aumenta considerablemente la flexibilidad de fabricación, y que está preparado para futuros avances en la era de la fabricación digital.

Gracias a su elevado nivel de flexibilidad, OmniCore ofrece a los clientes la posibilidad de fabricar una

combinación de productos cada vez más diversos en lotes más pequeños, manteniendo al mismo tiempo la productividad.

Gracias a las funciones «Power-on and Connect» y ABB Ability™, OmniCore puede conectarse a servicios avanzados que aumentan el rendimiento y la fiabilidad, al tiempo que ofrece conexiones fáciles a diversos protocolos de bus de campo, así como sistemas de visión y control de fuerza para soluciones completas. OmniCore incluye medidas de ciberseguridad para evitar la pérdida de datos, cerrando así el bucle entre conectividad, datos y control. También incluye SafeMove2, una solución de software de ABB que transforma los robots industriales en robots colaborativos, capaces de trabajar de forma segura junto a los seres humanos y seguir siendo productivos.

A pesar de todas estas funciones avanzadas, OmniCore es fácil de usar e intuitivo, y se accede a él a través de una interfaz hombre-máquina FlexPendant de diseño nuevo, con una sencilla pantalla táctil para programación visual. •

EL SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN SUBMARINA PERMITE AL SECTOR DEL PETRÓLEO Y EL GAS AVENTURARSE EN LAS PROFUNDIDADES MARINAS

En 2013, ABB y sus socios industriales conjuntos, Equinor, Total y Chevron, iniciaron un proyecto de expansión para diseñar y probar una solución completa de electrificación submarina destinada al sector del petróleo y el gas. Para permitir las operaciones en lugares remotos en aguas ultraprofundas, ABB desarrolló equipos modulares (componentes y conjuntos), que se integran para formar un sistema de electrificación submarina¹. El sistema consta de aparataje de accionamiento de velocidad variable (VSD) y un sistema de protección y control para el transporte, distribución y conversión de energía a bombas submarinas y compresores de gas a una capacidad máxima de 100 MW y profundidades de agua de hasta 3000 metros; y con distancias de transporte de hasta 600 km y requisitos de vida útil de hasta 30 años. Se ha despejado la superestructura (topside) y se han reducido las demandas de suministro eléctrico y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Adoptando un enfoque pragmático paso a paso del diseño de los equipos, ABB llevó a cabo con éxito simulaciones, pruebas de laboratorio y de campo para garantizar que todos los componentes, subconjuntos y conjuntos cumplieran los requisitos de acuerdo con las etapas del nivel de preparación técnica (TRL) definidas en la norma DNV RP-A203 y API 17F para sistemas submarinos de control de producción.

Satisfechos con los resultados individuales del dispositivo, se realizaron pruebas en aguas poco profundas (SWT). Se utilizó un prototipo de un sistema de accionamiento de velocidad variable (VSD) de media tensión y se efectuó en un lugar destinado a pruebas de un puerto protegido durante más de 1000 horas², con resultados impecables.

En junio de 2019 se ejecutó una segunda serie de pruebas SWT (esta vez durante 3000 horas) con un prototipo de todo el sistema de electrificación: dos VSD configurados en paralelo con aparataje y controles. Los resultados de esta prueba y todas las certificaciones positivas anteriores garantizan la fiabilidad del sistema en condiciones submarinas difíciles. El éxito de esta prueba SWT, finalizada en noviembre de 2019, permite que el sector del petróleo y el gas sepa que esta solución de electrificación está lista para su uso en el entorno submarino profundo. •

Notas al pie

1) ¿Ha despertado este asunto su interés? Pues en este número hay más artículos sobre el sistema, su diseño y su cualificación. Consulte en la pág. 44: «La tecnología submarina de ABB está preparando los fondos marinos para un nuevo futuro energético».

2) Consulte en la pág. 50 «Sentando las bases de la conversión de energía submarina», con información detallada sobre la tecnología, el diseño y la funcionalidad de un sistema de accionamiento de velocidad variable (VSD) submarino.



INTERRUPTOR DE CC ULTRARRÁPIDO DE ALTA CORRIENTE BASADO EN LA ELECTRÓNICA DE POTENCIA



Los sistemas de distribución de CC a menudo necesitan una protección muy rápida frente a fallos, que simultáneamente ofrezca selectividad de protección, alta supervivencia y capacidad de reconfiguración después del fallo. ABB ha desarrollado ahora un interruptor de CC de estado sólido con electrónica de potencia (SS DCCB), con pérdidas de conducción extremadamente bajas, alta densidad de potencia y un tiempo de reacción ultrarrápido, que soluciona estos problemas de protección. Los SS-DCCB de alta corriente están indicados para intensidades nominales de 1000 a 5000 A, a una tensión operativa de 1000 V CC, y pueden interrumpir una corriente de cortocircuito potencial de varios centenares de kA, es decir, con una rapidez hasta mil veces mayor que los interruptores electromecánicos.

El SS-DCCB de ABB se basa en la conexión en paralelo de tiristores conmutados por puerta integrada y bloqueo inverso de silicio (RB-IGCT) desarrollados internamente en ABB. El interruptor de estado sólido puede enfriarse con agua para lograr una alta densidad de potencia, o bien con una avanzada refrigeración de dos fases, que proporciona la simplicidad de la refrigeración por aire con un rendimiento cercano al de la refrigeración por líquido, y garantiza bajos costes de instalación y mantenimiento, así como una larga vida útil.

Las pérdidas de potencia son un 70 % menores que las de las soluciones comparables de electrónica de potencia.

Con la creciente popularidad de los buques totalmente eléctricos, la distribución a bordo de electricidad de CC está llamando mucho la atención gracias a su capacidad para manejar grandes flujos de energía en un espacio confinado, con una alta eficiencia del sistema y un bajo coste del ciclo de vida. El SS DCCB es perfecto para estas aplicaciones marinas, y es en este ámbito donde se utilizará el dispositivo inicialmente. Se trata del primer interruptor de ABB listo para poder integrarse directamente en cualquier sistema de distribución de CC de los buques. Una arquitectura modular, un hardware simplificado y unas interfaces digitales garantizan la máxima flexibilidad.

El nuevo interruptor es perfecto también para muchas otras áreas, como microrredes de CC, sistemas de almacenamiento de energía de baterías, centros de datos, infraestructuras de carga de vehículos eléctricos, etc. La primera aplicación comercial está prevista para este año. •



UNA APLICACIÓN PARA DETECCIÓN DE ANOMALÍAS QUE AYUDA A LOS ROBOTS A REDUCIR EL TIEMPO DE INACTIVIDAD

Todo el mundo sabe lo que es una anomalía, ¿verdad? Por ejemplo, que todos los botones de su camisa sean iguales excepto uno... Bueno, en realidad este es un ejemplo bastante obvio. Pero cuando se trata de distinguir qué alarmas son reales y cuáles son falsas entre las generadas por los robots de una fábrica, la situación se complica.

La detección de anomalías, que es una rama del aprendizaje automático (machine learning), se centra en la detección e identificación de discrepancias que se desvían significativamente de la mayoría de otras observaciones en grandes conjuntos de datos o flujos de datos. Tales discrepancias, si se detectan y localizan repetidamente, pueden proporcionar una alerta temprana de funcionamiento incorrecto o la confirmación de un evento que podría necesitar la atención humana.

Utilizando un enfoque histórico en relación con una gran cantidad de datos, los ingenieros de software de ABB han desarrollado una vía estadística para comprender las distribuciones de eventos para robots

individuales en entornos fabriles y obtener información sobre su estado en tiempo real mientras cada robot está en funcionamiento. El enfoque está diseñado para mostrar puntuaciones anómalas en los paneles de control de la flota de robots, generar alarmas de eventos automáticamente, ejecutar las actividades de mantenimiento de manera proactiva y predictiva, reducir el tiempo de inactividad, evitar microparadas y, en última instancia, maximizar la eficacia general de los equipos (OEE).

La idea es crear una herramienta que los clientes puedan usar para gestionar los datos de parámetros físicos, así como alarmas y eventos generados por robots de forma agregada, con vistas a obtener actualizaciones del estado del robot junto con gráficos de tendencias de puntuación que puedan indicar problemas futuros y una forma de identificar rápidamente la raíz de los problemas.

ABB ofrecerá la herramienta como aplicación basada en el aprendizaje automático (machine learning) y formará parte de la última generación de ABB Ability™ Connected Services. •

EC TITANIUM: MOTOR Y ACCIONAMIENTO INTELIGENTES INTEGRADOS

Como su nombre indica, el nuevo motor y accionamiento inteligentes integrados EC Titanium de ABB combina motor y accionamiento de velocidad variable (VSD) en un solo paquete fácil de instalar. El EC Titanium está concebido para aplicaciones de 1 a 10 CV e incorpora los últimos avances en motores y accionamientos en una solución sumamente eficiente, compacta y conectada.

Se eligió un diseño de motor de reluctancia síncrona asistido por imanes de ferrita (FASR), ya que el bajo nivel de pérdidas hace que estos motores puedan alcanzar una clase de eficiencia IE5 y ser rentables. Otras ventajas dignas de mención son su diseño fácil de instalar y una alta densidad de potencia (el doble que los motores de inducción).

Un VSD integrado permite a los clientes adaptar la velocidad de accionamiento a los requisitos del proceso y hacer funcionar los equipos en su punto más eficiente desde una perspectiva energética, lo que prolonga la vida útil, ahorra energía y facilita el

cumplimiento de las normas de eficiencia. A plena carga, el rendimiento total del sistema es elevado. A carga parcial, modo en el que operan muchos clientes, la eficiencia puede ser un 16 % mejor que con un motor de inducción equivalente.

Otras ventajas para las aplicaciones de bombas y ventiladores incluyen la reducción de los requisitos de inventario, ya que se dispone de diferentes caudales del mismo paquete. Además, los productos integrados reducen los costes mediante la reducción de piezas y la simplificación de las compras y el montaje. El EC Titanium ofrece a los clientes múltiples opciones de conectividad (cableado, RS485 o Bluetooth). Por otra parte, el accionamiento actúa como sensor para el paquete motor/accionamiento, y se puede añadir un sensor inteligente para motores a fin de medir otros parámetros de rendimiento. Una vez conectado, los datos pueden enviarse a la plataforma ABB Ability™, donde un software con algoritmos avanzados analiza la información y detecta anomalías para la supervisión del estado y el mantenimiento predictivo. •



SOFTWARE DE TERCERA GENERACIÓN PARA RECOGIDA Y EMPAQUETADO, QUE REDUCE LOS TIEMPOS DE PUESTA EN SERVICIO DE DÍAS A HORAS

¿Cómo pueden los fabricantes responder con eficacia a las demandas de personalización masiva y los ciclos de vida más cortos del producto? Cada vez más, la respuesta es la tecnología de gemelos digitales, que permite a los clientes probar configuraciones en líneas de producción virtuales antes de modificar o construir líneas físicas.

Con esto en mente, ABB Robotics ha lanzado la tercera generación de su software PickMaster® para aplicaciones robóticas de recogida y empaquetado.

El software es líder del mercado por lo que respecta a la configuración fácil de acciones robóticas complejas y se ha convertido en una referencia en el sector por simplificar la integración de robots en la recogida de flujo aleatorio guiada por la visión, el empaquetado y la manipulación de materiales desde hace más de 18 años.

Equipado por primera vez con tecnología de gemelos digitales, el software acorta los tiempos de puesta en servicio, que pasa de días a horas, y reduce los períodos de cambio de producto, de horas a minutos. Ofrece una mayor flexibilidad y una mejor visualización de la colaboración entre múltiples robots, logrando con ello resultados de flujo optimizados sin pérdidas de producto ni paquetes incompletos en envoltura de flujo, carga de bandejas, embalaje de cajas y cartones y aplicaciones de manipulación.

Puesto que el software permite la programación offline de las tareas de recogida y empaquetado, los usuarios

pueden crear, simular y probar una instalación robótica completa en un entorno virtual sin interferir con sus líneas de producción reales. Utilizando la tecnología de gemelo digital, el proceso de recogida puede optimizarse en el mundo virtual en tiempo real, mientras que el proceso real actúa en consecuencia. Esta operación no solo ayuda a los clientes a mitigar los riesgos costosos y laboriosos, sino que también acorta el tiempo de comercialización de nuevos productos, ya que las líneas de productos se pueden instalar con mayor rapidez y aumentar su velocidad al máximo sin que haya sorpresas durante la puesta en servicio.

PickMaster® también ofrece una interfaz de operario moderna para la planta de producción, que proporciona a los operarios y a los directores de planta una visión completa y un control de los resultados de producción. Esta solución cumple la norma industrial PackML, se integra perfectamente con otras máquinas de empaquetado, así como con los sistemas de producción y planificación de la fábrica.

PickMaster® está disponible en multitud de configuraciones y puede trabajar a la perfección con todos los robots de ABB, así como con diversas máquinas virtuales y físicas. Es la herramienta más adecuada para fábricas y líneas de producción en las que es crucial una mayor producción, tiempos de respuesta más rápidos y cambios rápidos de producto. •



A200-H: LA NUEVA REFERENCIA EN TURBOCOMPRESIÓN DE UNA SOLA ETAPA

Como buque insignia de la generación de turbocompresores de una sola etapa, el A100-H, lidera actualmente el campo de la turbocompresión de una sola etapa, con coeficientes de presión de hasta 5,8, una eficiencia de hasta el 66 % y una presión media efectiva al freno (bmep) de hasta 22 bar. Para valores superiores de bmep, el sistema de dos etapas Power2® de ABB responde a la perfección. Para una aplicación con una bmep de entre 22 y 24 bar, la turbocompresión de dos etapas es potencialmente demasiado compleja.

Para llenar este vacío entre la turbocompresión de una y de dos etapas, ABB ha desarrollado el A200-H de una etapa, con un coeficiente de presión de hasta 6,5 y una eficiencia máxima del turbocompresor superior al 69 %. El A200-H permite la turbocompresión de una sola etapa en motores de gas de alta velocidad con una bmep de aproximadamente 24 bar, al tiempo que aumenta la eficiencia del motor en comparación con el A100-H.

La turbina del A200-H se ha adaptado al compresor para obtener la máxima eficiencia posible del turbocompresor y cumplir los requisitos mecánicos. Además, con vistas a futuras aplicaciones de nivelación de cargas punta con muchos ciclos de arranque y parada, se ha minimizado la tensión de la carcasa¹.

Por primera vez, el cliente puede elegir entre dos conceptos de cojinete: un diseño patentado del módulo de cojinetes que soporta los cojinetes lisos de ABB, o bien cojinetes de bolas de alta eficiencia desarrollados recientemente que, a carga parcial, tienen una pérdida de potencia de alrededor del 15 % de la que tiene la opción de cojinetes lisos. Estos nuevos cojinetes reducen el tiempo hasta la plena carga en un 15 %.

El control de la velocidad y la temperatura del turbocompresor, los ciclos de arranque y parada, las condiciones ambientales y otros parámetros se introducirán utilizando sensores integrados en el turbocompresor o accediendo a los datos del grupo electrógeno. Estas fuentes de datos exhaustivas permiten una evaluación de la vida útil de los componentes basada en la exposición y, por ejemplo, permiten que los rotores superen el tiempo de ejecución predefinido por los enfoques convencionales, que son más rígidos. •

Nota al pie

1) Para más información sobre el turbocompresor A200-H, consulte el artículo «A200-H: la nueva referencia en turbocompresión de una sola etapa» en las páginas 56-61 de este número de la Revista ABB.

El futuro digital



30

Más que cualquier otra tecnología del pasado, las herramientas digitales transforman economías y culturas enteras. Estos efectos, y el modo en que retroalimentan el uso de tales herramientas, exigen la adopción de formas nuevas e innovadoras de pensar cómo funcionan las empresas en general. ABB tiene ideas inspiradoras al respecto.

- 20 El futuro de la industria: la transformación digital
- 24 Repensar la innovación para la Cuarta Revolución Industrial
- 30 OPC UA y TSN: habilitación de la Industria 4.0 en dispositivos finales
- 36 El aumento de valor en los proyectos industriales con IA mediante la coinnovación



20



24



36

 EL FUTURO DIGITAL

El futuro de la industria: la transformación digital

La industria se encuentra a las puertas de un cambio sin precedentes. La sociedad digital traerá consigo cambios fundamentales en la forma de organizar la industria, en las relaciones cliente-proveedor e incluso en el modo de educar a los empleados.



Reiner Schönrock
ABB Corporate
Communications
Zürich, Suiza

reiner.schoenrock@
ch.abb.com

La industria está sometida a presión para satisfacer las demandas de mayor productividad y ciclos de vida cada vez más cortos de los productos. Al mismo tiempo, debe seguir la tendencia hacia la personalización masiva, así como cumplir unas normas de protección y cumplimiento medioambientales cada vez más exigentes. También deben ofrecer mejoras continuas en el rendimiento de la funcionalidad digital, como la comunicación, el análisis de datos y la presentación. Todo lo anterior está conmoviendo las cadenas de valor mundiales y provocando profundos cambios estructurales en la industria. Para seguir siendo competitivos en un entorno tan perturbador y poder ofrecer productos con un nivel elevado de personalización en los tamaños de lote más pequeños de una manera rentable y sostenible, las industrias necesitan un ecosistema impulsado por soluciones y servicios digitales altamente conectados y con grandes volúmenes de datos: la industria necesita una transformación digital.

La tecnología digital mejora la conectividad, la compatibilidad y la colaboración, haciendo que la industria de fabricación y procesos sea más flexible, productiva y eficiente que nunca. La transformación digital de la industria –con sus innumerables formas, incluida la Cuarta Revolución Industrial, el Internet industrial de las cosas, Industria 4.0, China 2025, etc.– no solo optimizará la fabricación individual o los pasos del proceso, sino que también revolucionará las cadenas de valor y los ecosistemas mundiales. ABB es un proveedor líder de soluciones en estas áreas, en muchos casos ofrecidas con la marca ABB Ability™.

Un requisito previo para la transformación digital es la conectividad de activos como herramientas, máquinas, materiales y empleados a lo largo de la cadena de valor →01. Esto crea un vínculo entre el mundo real (físico) y el mundo conectado (digital). Pero nada de esto sería posible sin protocolos de comunicación y formatos de datos normalizados, así como interfaces de hardware. ABB tiene representación en las principales organizaciones de desarrollo de normas de todo el mundo.

La tecnología digital mejora la conectividad, la compatibilidad y la colaboración, haciendo que las industrias sean más flexibles, productivas y eficientes que nunca.

Cuando los activos entienden el significado de la información porque utilizan la misma terminología, también entienden los mensajes que intercambian entre sí y pueden responder en consecuencia. Esto crea las condiciones necesarias para que interactúen de forma autónoma y realicen las tareas necesarias. El uso de métodos avanzados como la inteligencia artificial industrial es una de las áreas de investigación y desarrollo que ABB ha priorizado como parte de sus esfuerzos para dar autonomía a las industrias.

El gemelo digital, es decir, una copia digital de un activo físico, es uno de los elementos de la transformación digital. Permite a la industria acortar drásticamente el tiempo necesario para el desarrollo,

Imagen del título.
El robot Yumi de ABB,
con doble brazo, ha
llevado a nuevas cotas
la colaboración entre
robots y humanos.



01

la producción y las pruebas, y además reduce los costes de los prototipos y de incremento de la producción. Disponer de datos coherentes a lo largo de todo el ciclo de vida del activo es esencial para el uso satisfactorio de la tecnología de gemelos digitales. El activo en sí puede ser un producto, un sistema o una fábrica. Un gemelo digital puede utilizarse para mejorar los detalles de un producto u optimizar áreas específicas de la cadena de valor.

La integridad de los datos y las medidas de ciberseguridad garantizan que los datos tratados a lo largo de la cadena de valor se mantengan completos e inalterados. Esta es la única manera de obtener la información deseada sobre la optimización del proceso a partir de los datos.

La idea es facilitar el trabajo a las personas en las operaciones actuales, no dejarlas sin empleo. Por el contrario, los sistemas autónomos realizan tareas aburridas, peligrosas o agotadoras, y toman decisiones en áreas donde no se requiere la intervención humana. Las decisiones solo son realmente autónomas cuando estos sistemas son capaces de tomar las decisiones correctas en situaciones en las que no se les ha enseñado (programado) a intervenir →02.

La automatización puede crear empleos de alta calidad para las personas. No obstante, a fin de estar mejor preparados para los trabajos del futuro, incluso los

países bien equipados deben repensar sus conceptos de educación y formación, de acuerdo con un estudio encargado por ABB. ABB ya se prepara para el futuro y está creando «entornos de trabajo digitales» y ofreciendo a los empleados cursos intensivos de formación sobre herramientas de automatización digital. ABB también participa en la enseñanza universitaria. Por ejemplo, en 2007 la empresa creó la «Fundación Jürgen Dormann para la Formación en Ingeniería». La fundación concede becas a estudiantes de ingeniería eléctrica de todo el mundo que tengan un excelente rendimiento académico y necesiten recursos económicos para continuar sus estudios. El Premio ABB a la Investigación en honor a Hubert von Grünberg se creó en 2016. Ofrece a sus beneficiarios una subvención de 300 000 dólares para investigar, y se convoca cada tres años.

El gemelo digital permite a las industrias acortar drásticamente el tiempo necesario para el desarrollo, la producción y las pruebas.

Más allá de la interoperabilidad entre los distintos elementos y el aumento de la autonomía, la transformación digital también quiere lograr un mayor grado de sostenibilidad. Las tecnologías digitales pueden ayudar a reducir la carga en la lucha contra el

Fotografía fig. 01: ©istockphoto.com/monstArrr

—
01 Los humanos y las máquinas están trabajando juntos, en una colaboración cada vez más estrecha. Las herramientas de realidad virtual apoyan las decisiones y facilitan el acceso a la información en aplicaciones tan diversas como el mantenimiento de campo y el diseño de productos.

—
02 Escaneando el código QR de esta unidad ACS880, el técnico de campo obtiene acceso instantáneo a una gran cantidad de datos.

cambio climático. ABB creó su eslogan «Mission to Zero» para promover la protección del clima, y ya ha obtenido importantes resultados. La empresa genera actualmente más de la mitad de sus ingresos con productos y sistemas respetuosos con el medio ambiente, y la tendencia va en aumento. Los productos de automatización de edificios en los sectores privado y comercial facilitan la optimización energética y el control fácil de los equipos eléctricos. Gracias a la transformación digital se puede conseguir un ahorro energético de hasta el 30 %.

ABB ha consolidado muchas soluciones de transformación digital para la industria con la marca ABB Ability™ y amplía constantemente su gama de productos y servicios basados en una plataforma de vanguardia. En la actualidad, la cartera incluye unas 200 soluciones que pueden adaptarse específicamente a las necesidades de los clientes en los Centros de Experiencia del Cliente que tiene la empresa.

Lista para la transformación

La transformación digital de la industria adopta muchas formas diferentes. El término en sí es el mínimo común denominador para la amplia gama de transformaciones que se están produciendo en la actualidad. La transformación digital engloba iniciativas y conceptos como la Cuarta Revolución Industrial, el Internet industrial de las cosas, Industria 4.0, el Industrial Internet Consortium, China 2025 y muchos otros. La comunicación sobre las iniciativas y los conceptos individuales debe ir acompañada siempre de información sobre cómo se integran en la transformación digital. •

ABB ya se prepara para el futuro y está creando «entornos de trabajo digitales».



02

EL FUTURO DIGITAL

Repensar la innovación para la Cuarta Revolución Industrial

¿Cómo pueden transformarse los procesos de innovación para hacer el mejor uso posible del potencial de la Cuarta Revolución Industrial? ¿Cómo pueden las empresas identificar problemas específicos de dominio o tecnología con la posibilidad de reproducirlos en centros o dominios con el objetivo de revolucionar industrias enteras? La explicación la facilita aquí el autor de un nuevo libro sobre tecnologías y estrategias empresariales del futuro.



Wilhelm Wiese
Corporate Technology
Center India
ABB Global Industries
and Services Private
Limited
Bengaluru, India

wilhelm.wiese@
in.abb.com

Con la llegada de la Cuarta Revolución Industrial y la creciente velocidad a la que cambian no solo los productos, sino mercados enteros, la excelencia operativa se ha vuelto más crucial que nunca para todas las empresas. En un mundo en el que el desarrollo y la implantación son un proceso continuo, los modelos y prácticas de desarrollo basados en ciclos de actualización y mantenimiento de meses e incluso años ya no son idóneos. La Cuarta Revolución Industrial exige un cambio de paradigma a la hora de llevar al mercado nuevos productos, tecnologías y soluciones, de modo que puedan mantener el ritmo de las expectativas.

Las empresas deben identificar problemas específicos de dominio o tecnología con posibilidad de reproducirlos en centros o dominios.

En este contexto, un término técnico importante es el desarrollo de soluciones. Muchos líderes empresariales anuncian con entusiasmo sus planes de digitalizar sus plantas o transformar sus

organizaciones de manera que dejen de ser empresas de productos y se conviertan en proveedores de soluciones. Pero, en realidad, ¿por qué darle tanto bombo? ¿No es eso, en realidad, en lo que consiste la ingeniería? Cuando se trata de mantener el ritmo o incluso adelantarse a la curva de expectativas, el verdadero desafío no es el desarrollo de soluciones, sino la identificación de problemas. En pocas palabras: una empresa debe definir el problema antes de poder proponer una solución. Y en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial, eso significa descubrir cómo las nuevas tecnologías pueden ofrecer ventajas competitivas en comparación con las tradicionales →01. Esa es la vía correcta de identificar el valor para los operadores de las plantas, y los nuevos flujos de ingresos para los proveedores de productos y servicios industriales.

Pero es más fácil decirlo que hacerlo. Lo que puede parecer una nueva e interesante productividad que estimula las estrategias digitales cuando se anuncia en las reuniones del Consejo de Administración puede convertirse rápidamente en respuestas comunes y corrientes al traducirlo en asignaciones concretas. A fin de cuentas, lo que realmente se ofrece son soluciones estándar con escasa atracción para los productos y servicios existentes bajo el paraguas de las soluciones digitales. Además, muchas de estas asignaciones

Fotografía fig. 02: @istockphoto.com/Traimak_Ivan



02

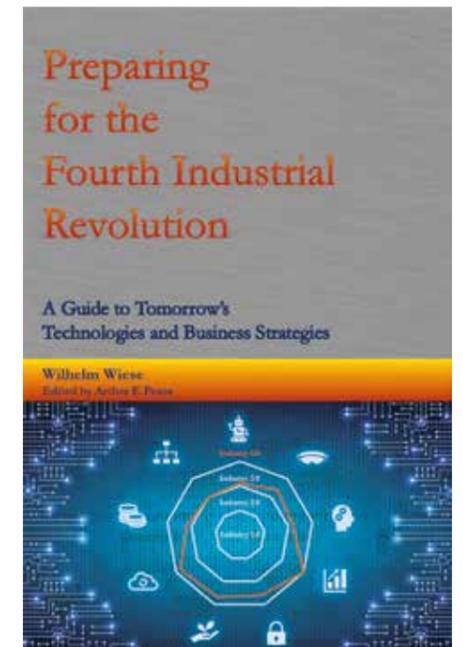
—
01 Wilhelm Wiese es el autor de un nuevo libro sobre la Cuarta Revolución Industrial. Este artículo se basa en un apartado del libro. ISBN 978-1-6871-4652-6, por Wilhelm Wiese, 2019.

—
02 Los procesos industriales necesitan encontrar correlaciones entre cientos de variables. Un nuevo módulo de análisis desarrollado por ABB utiliza «big data» (inteligencia de datos) para descubrir patrones sospechosos con el fin de predecir con precisión eventos no deseados.

acaban siendo aplicables solo a ámbitos muy concretos y no se pueden adaptar a otras escalas.

Las soluciones pseudodigitales de este tipo pueden ser realmente buenas para las empresas y hacer felices a los operadores de la planta, pero no desencadenan cambios decisivos en la productividad que mejoren los ingresos, ni crean nuevos flujos de ganancias para los proveedores de soluciones que puedan mejorar significativamente las ventas. Para hacerse con una porción significativa del multimillonario pastel potencial que se prevé que será la Cuarta Revolución Industrial, las empresas necesitan desafiar las tecnologías actuales. En consecuencia, deben comenzar por la zona de producción para identificar problemas específicos de dominio o tecnología que puedan reproducirse en los centros o dominios con el objetivo de revolucionar industrias enteras →02.

Los problemas intrínsecamente mal definidos o perversos están lejos de ser algo de lo que conviene alejarse. De hecho, pueden resultar muy prometedores.



01

Por consiguiente, cualquier desarrollo de soluciones debe comenzar por identificar el planteamiento del problema y el valor de una solución. Hasta que no se concluya el segundo paso, una organización no debe iniciar el proceso de innovación y evaluar de qué manera las nuevas tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial pueden ser disruptivas y añadir valor a las empresas de sus clientes.

La gran promesa de los problemas perversos

¿Dónde debe comenzar este proceso general? Un buen punto de partida es el núcleo del popular proceso actual de «pensamiento de diseño» (*design thinking*). Plattner, Meinel y Leifer describen en cinco fases el proceso: «(re)definir el problema, encontrar y comparar las necesidades, idear, construir, probar» [1] El proceso también puede considerarse como un sistema de espacios superpuestos, en lugar de una secuencia de pasos ordenados: la inspiración, la ideación y la ejecución del proyecto pueden retroceder y entrecruzarse más de una vez mientras un equipo perfecciona sus ideas y explora nuevas direcciones.

El pensamiento de diseño es especialmente útil al abordar lo que Horst Rittel y Melvin Webber denominaron «problemas perversos», que son problemas mal definidos o complicados [2]. Estos problemas, lejos de ser algo de lo que conviene alejarse, pueden resultar muy prometedores. De hecho,

el verdadero peligro radica en limitar nuestro pensamiento a problemas bien definidos, porque tiende a hacer que ideemos soluciones basadas en reglas estándar o conocimientos técnicos actuales.

Para generar una imagen de lo que son los problemas perversos en términos de procesos de toma de decisiones en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial es útil utilizar la ventana de Johari →03a [3].

Creada originalmente por psicólogos para apoyar a grupos de autoayuda, la ventana de Johari puede guiar a los usuarios hacia la identificación de problemas ocultos hasta el momento, y colocarlos en el camino hacia la identificación de soluciones novedosas. Como se indica en →03b, la ventana puede subdividirse en cuatro áreas de solución (cuadrantes) claves, la primera de las cuales está ocupada por las soluciones graduales. Por ejemplo, si usted y otras personas de un sector industrial conocen un problema, es de esperar que probablemente se resuelva pronto con las tecnologías actuales o con algunos cambios graduales.

— **Las soluciones a los problemas perversos, que constituyen en potencia el combustible de la Cuarta Revolución Industrial, tienen las mayores probabilidades de ser un gran éxito.**

La segunda área la ocupan las opciones más factibles. En este caso, los expertos del sector, como los operadores de plantas, conocen el problema planteado y son conscientes de que existe una oportunidad de mejora, pero un proveedor de soluciones aún no lo conoce. Este cuadrante puede abordarse en talleres para clientes, denominados a menudo «talleres de creación conjunta», donde los proveedores de soluciones tienen ocasión de comprender los desafíos a los que se enfrentan los operadores de la planta y pueden llevar a sus expertos técnicos para que encuentren una solución. El intercambio de información que se produce está diseñado para materializarse en planteamientos de problemas bien definidos, con grandes posibilidades de ofrecer soluciones que, a su vez, pueden reproducirse y aumentarse en escala.

El tercer cuadrante lo ocupan los planteamientos de problemas hipotéticos. En este caso, los riesgos son altos porque el proveedor de la solución podría tener que invertir mucho dinero en desarrollo, sin tener ninguna garantía de éxito, ya que la solución no se considera crucial o no añade suficiente valor.

Por último, llegamos al cuarto cuadrante: los problemas perversos. Estos son, en potencia, el combustible de la Cuarta Revolución Industrial. En esta área, el nivel

	Yo conozco	Yo desconozco
Los demás conocen	Área pública	Área ciega
Los demás no conocen	Área oculta	Área desconocida
03a		
	El proveedor de soluciones conoce	El proveedor de soluciones no conoce
La industria conoce	Graduales Escaso potencial de negocio Riesgo bajo	Opciones más factibles Elevado potencial de negocio Riesgo bajo
La industria desconoce	Hipotéticos Escaso potencial de negocio Riesgo alto	Perversos Elevado potencial de negocio Riesgo alto
03b		

— 03 La ventana de Johari, ideada originalmente por psicólogos para apoyar a grupos de autoayuda, puede ser de utilidad a los gerentes para identificar problemas ocultos y así poder alcanzar soluciones novedosas.

03a La ventana de Johari se subdivide en cuatro áreas (cuadrantes) de solución claves.

03b La ventana de Johari aplicada como mapa de planteamientos de problemas.

— 04 Reactor por lotes atípico.



04

de riesgo es obviamente elevado, ya que el proceso de innovación es complejo y con seguridad algunas ideas fracasarán; pero la resolución de problemas perversos será disruptiva, lo que significa que las soluciones resultantes tienen las mayores probabilidades de ser un gran éxito.

Qué hizo ABB para resolver un problema perverso

Recientemente, ABB se enfrentó a un problema perverso, en colaboración con un cliente clave del sector químico [4]. El problema consistía en que el operario de la planta del cliente se enfrentaba ocasionalmente a la formación inesperada de espuma en las reacciones de los lotes →04. En las industrias química y farmacéutica, el término «proceso por lotes» se refiere a la ejecución de varias etapas de producción para generar un producto final de acuerdo con una fórmula estricta. La espuma provocaba impurezas de tal gravedad en el producto, que un lote que necesitó 17 horas de producción tuvo que ser desechado y reciclado. Además, esto exigió muchas horas improductivas para limpiar depósitos y tuberías.

— **Los cambios disruptivos en el desarrollo de soluciones abren la puerta a la implantación de nuevas tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial.**

Los procesos por lotes se aplican a productos con un elevado nivel de calidad. No obstante, dado el número de variables que intervienen, no hay dos lotes idénticos. Factores como la calidad de los materiales iniciales, el tamaño del lote, la temperatura, la humedad y otros factores ambientales pueden influirse mutuamente y dar lugar a circunstancias anómalas. Además, la gestión del propio proceso de producción suele incluir cientos de variables del proceso con interrelaciones complejas.

Teniendo en cuenta estos factores, el control detallado de los lotes es una parte esencial para comprender y gestionar este proceso altamente dinámico. Pero en este caso, aunque el cliente disponía de una gran cantidad de datos, no estaba equipado para relacionar los datos de más de 100 variables del proceso procedentes de varios cientos de lotes con otros datos de producción, como especificaciones de materias primas, consumo de energía y mediciones variables del proceso.

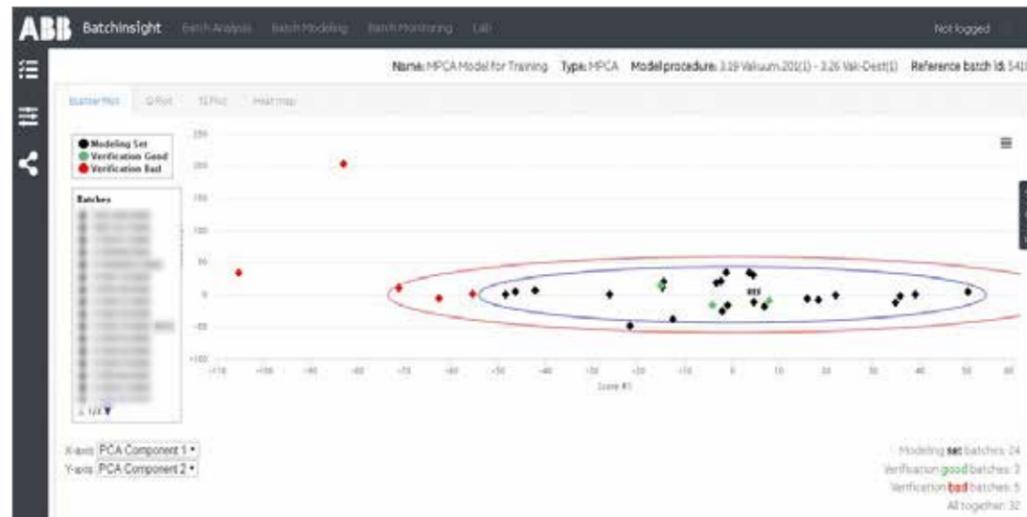
En estrecha colaboración con el cliente, ABB envió expertos que aplicaron el análisis de *big data* para determinar la raíz del problema. Su trabajo reveló patrones sospechosos, como picos de consumo de energía y anomalías en el flujo de vapor. Al final, coinventaron un concepto de predicción capaz de generar advertencias muy precisas alrededor de 30 minutos antes de que se pudiera formar la espuma.

A lo largo de esta colaboración, el equipo utilizó BatchInsight de ABB →05, un producto que combina técnicas de inteligencia empresarial, análisis de datos

clásico y aprendizaje automático (*machine learning*) para ayudar a los expertos en procesos a analizar de manera holística los procesos por lotes.

En cualquier caso, ¿qué se puede extraer de este ejemplo? Muestra con claridad que los cambios disruptivos en el desarrollo de soluciones abren la puerta a la implantación de nuevas tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial, que pueden desempeñar un papel importante en la identificación de problemas perversos y mal definidos. Este proceso puede ir seguido, p. ej., de un análisis de la raíz del problema, basado en inteligencia artificial, para idear soluciones en las que nadie había pensado antes. ¡Todo lo que se necesita para comenzar a profundizar en los datos y la tecnología es una corazonada inicial!

Pero incluso las corazonadas necesitan un detonador. En consecuencia, en su caso un buen punto de partida es comenzar por visitar sus plantas y preguntarse si hay algún problema de productividad o calidad que los gerentes no hayan podido explicar. Aquí es donde escuchará muchas corazonadas. A partir de este punto, se pueden aplicar varias técnicas para formular preguntas, como un diagrama de Ishikawa [5] para explorar las relaciones causa-efecto. El factor clave a la hora de aplicar esta técnica iterativa de formulación de preguntas para analizar problemas perversos es no buscar su causa raíz. La técnica sirve para definir el alcance de los datos necesarios para recopilar y determinar qué tecnología se debe aplicar a fin de encontrar una relación causa-efecto

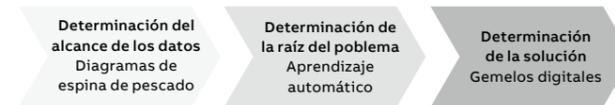


05

que no sea detectable con los datos y los conocimientos sobre los mismos que tienen las personas en sus mentes. Lo anterior se reduce a un enfoque en tres pasos →06.

El primer paso es la determinación del alcance, en la que el objetivo es encontrar datos que puedan correlacionarse, pero que antes no se hayan tenido en cuenta en este contexto. En el segundo paso se aplica a los datos la última tecnología, como el aprendizaje automático (*machine learning*) o la inteligencia artificial, para obtener nuevos conocimientos sobre posibles raíces del problema. El tercer paso consiste en desarrollar una solución. Y aquí es donde la cuestión se vuelve realmente emocionante. El desarrollo de soluciones para problemas perversos suele comenzar con varios estudios de prueba de concepto basados en modelos de construcción o gemelos digitales. Son esenciales porque el resultado de los algoritmos de aprendizaje automático se asocia a un determinado nivel de probabilidad que debe probarse antes de su implantación en un proceso industrial real.

— El desarrollo de soluciones para problemas perversos suele comenzar con varios estudios de prueba de concepto basados en modelos de construcción o gemelos digitales.



06

— 05 El módulo de análisis de datos BatchInsight combina técnicas de inteligencia empresarial, análisis de datos clásico y aprendizaje automático (*machine learning*) para ayudar a los expertos en procesos a analizar de manera holística los procesos por lotes.

— 06 Proceso de solución de problemas perversos.

— 07 La coinvencción es la clave para resolver con éxito problemas perversos.

Referencias

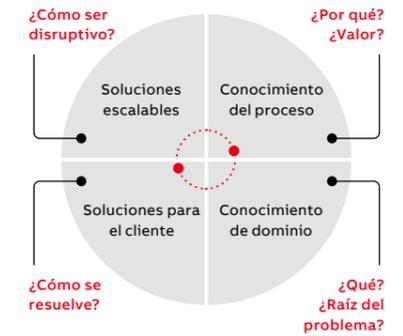
[1] "Design thinking research," en Design thinking: understand, improve, apply, H. Plattner, C. Meinel y L. Leifer, Dirs. Heidelberg:

[2] Wikipedia, "Design Thinking", disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Design_thinking. [Pág. consultada 3.12.2019].

[3] Wikipedia, "Johari window", disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Johari_window. [Pág. consultada 3.12.2019].

[4] El autor desea expresar su agradecimiento al apoyo prestado por Benedikt Schmidt, de Corporate Research Center de ABB en Alemania, por facilitar información para este ejemplo.

[5] Wikipedia, "Ishikawa diagram", disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Ishikawa_diagram. [Pág. consultada 3.12.2019].



07

— La coinvencción para resolver problemas perversos liberará el potencial de las nuevas tecnologías e impulsará a la industria a nuevos niveles de productividad.

¿Puede un operador de planta, proveedor de sistemas o fabricante de dispositivos hacer esta tarea solo? Probablemente no. Pero un excelente método de solución de problemas es descomponer este proceso en tres pasos: Por qué – Qué – Cómo →07, y este último paso distingue entre cómo se resuelven los problemas de forma tradicional y cómo deben resolverse de forma colaborativa para ser disruptivos.

Resolver problemas perversos a través de la coinvencción

Comencemos por el «Por qué»: una comprensión profunda de las necesidades, los objetivos y los factores diferenciadores del cliente debe ser la base del proceso de solución en común. Sin esto, se corre el riesgo de realizar meras correcciones técnicas y soluciones parciales, en lugar de la solución en sí misma. En otras palabras, el equipo debe comprender los procesos de producción de la planta en cuestión, la cadena de valor y el modo en que esto influye en la productividad de la planta y las características de los productos fabricados.

Solo después de formular un planteamiento del problema claramente definido es el momento de aplicar el conocimiento del dominio y las últimas tecnologías, como el análisis de big data o el aprendizaje automático (*machine learning*), para identificar la raíz del problema y, por tanto, el «Qué» debe cambiarse.

El tercer paso es abordar el «Cómo», que es el núcleo del cambio de paradigma, el paso de la colaboración a la coinvencción. Es un paso esencial porque el objetivo no es realizar una corrección inmediata para una planta o área de operaciones específica, sino aplicar tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial, como la inteligencia artificial y los conceptos de sistemas autónomos, para hacer un cambio disruptivo en la productividad de la planta o las características de los productos fabricados, que puede reproducirse en todas las plantas del cliente o incluso ampliarse a todo un sector industrial.

En definitiva, el desarrollo de soluciones para los problemas más graves de la actualidad ofrece una alta probabilidad de liberar el potencial de muchas tecnologías nuevas de la Cuarta Revolución Industrial. Además, la aplicación de soluciones a entornos industriales demostrará y mejorará continuamente las capacidades del aprendizaje automático (*machine learning*). Por último, este proceso se apoyará en la capacidad de evaluar previamente las soluciones, lo que requerirá una creciente creación de gemelos digitales. Estos, a su vez, generarán los datos que constituirán la base de los sistemas autónomos del futuro, y acelerarán su desarrollo. En otras palabras, la coinvencción para resolver los planteamientos de problemas perversos liberará el potencial de las nuevas tecnologías e impulsará las industrias a un nivel de productividad difícilmente imaginable con la tecnología actual. •



de campo existentes. En la actualidad, ambas tecnologías afirman estar disponibles en el mercado, con diferentes niveles de preparación.

Habilitar dispositivos finales con OPC UA y TSN puede ser difícil cuando esos dispositivos tienen recursos limitados. ABB ha investigado recientemente el rendimiento de dispositivos terminales típicos cuando se enfrentan a la implementación de OPC UA y TSN. En el proyecto se evaluaron diversas plataformas de software y hardware a fin de desarrollar tres aplicaciones de pruebas de concepto para diferentes prototipos de productos de ABB. Estos dispositivos se habilitaron con OPC UA, y después se compararon el sistema Extended Automation System 800xA y la integración del sistema TSN. Se planteaban las preguntas siguientes: «¿es el concepto Industria 4.0 capaz de aprovechar las redes deterministas y el mayor acceso a los datos con TSN y OPC UA?, y ¿pueden integrarse estos nuevos mecanismos en los productos para ofrecer capacidades más amplias y mejor rendimiento?»

EL FUTURO DIGITAL

OPC UA y TSN: habilitación de la Industria 4.0 en dispositivos finales

OPC UA e IEEE TSN son puntos de inflexión en la Industria 4.0 que pueden revolucionar las capacidades de automatización industriales, desde el dispositivo de campo hasta los de nivel empresarial. ¿Qué tal se adaptan a estas nuevas tecnologías los dispositivos omnipresentes, y a veces con recursos limitados, del panorama actual de automatización?

Imagen del título. OPC UA y TSN prometen cambiar a fondo la recopilación de datos industriales, como en esta fábrica de paneles fotovoltaicos.

ABB considera que la Industria 4.0 desempeñará un papel esencial en el futuro de la automatización industrial. Dos elementos importantes de la Industria 4.0 son OPC UA e IEEE TSN.

OPC (OLE for process control) es la próxima generación de la tecnología OPC, que elimina muchas de las deficiencias de OPC y es una forma más flexible y seguro de manejar datos. OLE, que en inglés significa «vinculación e integración de objetos» retrocede a una norma para interfaces de software que permite la comunicación entre los programas de Windows y cualquier dispositivo de hardware industrial compatible. La tecnología OPC funciona en modo servidor/cliente. El atractivo de OPC reside en que es una norma abierta, lo que significa que un fabricante de hardware solo tiene que proporcionar un servidor OPC para su dispositivo, y ya podrá comunicarse fácilmente con cualquier otro OPC cliente. El problema de los protocolos, las interfaces, etc. que son específicos de un proveedor queda, por tanto, resuelto. La OPC UA puede afrontar mejor el volumen y la complejidad del mundo actual de los datos, un reto que los desarrolladores de OPC no pudieron prever.



Alexander Gogolev
ABB Corporate Research
Ladenburg, Alemania
alexander.gogolev@de.abb.com

IEEE TSN (Redes sensibles al tiempo) es un conjunto de normas IEEE que proporcionan redes deterministas para OPC UA en niveles inferiores. La combinación de TSN y OPC UA tiene el potencial no solo de sustituir, sino también de superar [1] el rendimiento de los buses

OPC es una norma para interfaces de software, que permite la comunicación entre los programas de Windows y cualquier dispositivo de hardware industrial compatible.

Nuevos conceptos de automatización industrial

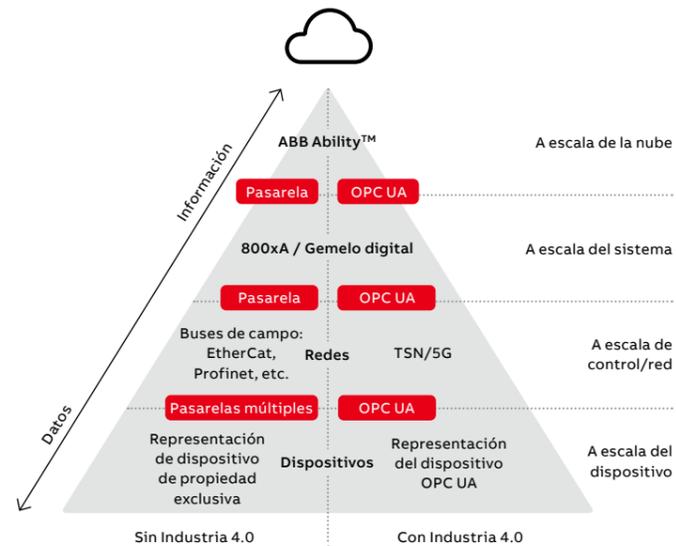
En la actualidad, el mundo de la automatización industrial se enfrenta a nuevos conceptos, como el análisis de datos, el acceso a la nube, el *edge computing*, etc. Son conceptos en cuyo núcleo hay información: su adquisición, su recuperación, su representación, su tratamiento y su distribución.

Es posible que los datos relevantes para el proceso originados en dispositivos (p. ej., en una línea de producción de una fábrica) necesiten tratarse previamente, filtrarse y comunicarse a la nube para presentación y análisis por parte de la dirección. En la actualidad, los datos de producción en bruto suelen recuperarse mediante tecnologías de bus de campo, que utilizan especificaciones de propiedad exclusiva, tanto para la semántica de los datos como para el transporte. A fin de acceder a los datos del proceso se necesitan pasarelas (*gateways*) específicas al bus de campo para enlazar los formatos de datos y de transporte. No obstante, OPC UA puede unificar los modelos de información en todos los dispositivos del sistema para proporcionar un acceso a los datos

mejorado y transparente, utilizando TSN como medio de transporte →01. Una solución de este tipo también ofrece una poderosa semántica para representar la lógica empresarial de los dispositivos y la comunicación transparente cliente-servidor que puede conectar la planta de la fábrica a la nube.

Otro aspecto positivo de OPC UA y TSN es el paso de un mundo personalizado y de código cerrado a otro unificado y normalizado.

Aparte de las interfaces y protocolos específicos del proveedor, pueden surgir otros problemas a escala de línea de producción. Por ejemplo, las aplicaciones exigentes, como las tareas de control del movimiento, necesitan un alto grado de rendimiento y determinismo en el transporte de datos entre dispositivos. Las tecnologías de bus de campo diseñadas hace décadas se esfuerzan por satisfacer los requisitos actuales. TSN puede superar a [1] los buses de campo existentes y permitir un crecimiento futuro en el transporte de datos de alto rendimiento.



02

—
01 Pirámide de automatización con y sin Industria 4.0.

—
02 OPC UA y TSN pueden unificar modelos de información y proporcionar un transporte de datos determinista.

En resumen, el requisito no solo de unificar mejores modelos de información, sino también de proporcionar un transporte de datos determinista plantea un serio reto para las arquitecturas de los sistemas existentes. La Industria 4.0 propone que se aborde este reto utilizando mecanismos de IoT (Internet de las cosas), como OPC UA e IEEE TSN. Mientras que TSN proporciona el transporte de datos de bajo nivel, OPC UA sirve como habilitador de IoT para aplicaciones de nivel superior. El uso conjunto de estas dos tecnologías puede proporcionar dos características esenciales para el futuro de la automatización industrial: un transporte de datos rápido y robusto, y la combinación cliente-servidor para una semántica avanzada de dispositivos →02.

El uso conjunto de estas dos tecnologías puede proporcionar un transporte de datos rápido y robusto, y la combinación cliente-servidor para una semántica de dispositivos perfeccionada.

Otro aspecto positivo de la adopción de OPC UA y TSN es el paso de un mundo personalizado y de propiedad exclusiva a otro unificado y normalizado. Una ventaja evidente en este sentido es la unificación del software, las interfaces y los modelos de acceso en todas las gamas de productos. Además, OPC UA y TSN permiten la unificación de los conocimientos especializados de desarrollo entre empresas, lo que puede eliminar la existencia de conocimientos especializados duplicados o redundantes en un conjunto de ámbitos reducidos.

No todo es tan sencillo

Aunque OPC UA y TSN aportan nuevas capacidades y mejoran el rendimiento, sigue habiendo preguntas pendientes:

- ¿Está listo el mercado para pasar de ser de propiedad exclusiva (pero conocida) a ser normalizado y abierto (pero nuevo)?
- ¿Cómo garantizar una evolución suave de la tecnología hacia el nuevo paradigma?
- ¿Hay soluciones piloto con TSN y OPC UA? Y ¿qué tecnologías y estrategias se necesitan para integrar OPC UA y TSN en un sistema?

Al decidir adoptar la Industria 4.0, un responsable de sistemas debería primero responder a varias preguntas. Por ejemplo, «¿realmente necesita el sistema todas las capacidades y características de OPC UA y TSN?» No todas las aplicaciones requieren redes deterministas o baja latencia en la comunicación. Por consiguiente, lo más probable es que el alcance de la

adopción de TSN varíe: la interacción a escala de nube normalmente no requerirá TSN, y en algunos casos, tampoco los sensores de campo. Del mismo modo, no todos los dispositivos finales necesitan una semántica avanzada y una accesibilidad uniforme de los datos.

La segunda de las tres preguntas anteriores se refiere a la integración de OPC UA y TSN en las herramientas de diseño y gestión de sistemas existentes: ¿qué mecanismos se deben utilizar y cómo se deben unificar? No son preguntas triviales, dada la diversidad de los sistemas de múltiples proveedores y las respectivas herramientas.

Una vez tomada la decisión de implantar OPC UA y TSN, un resumen de las preguntas más apremiantes podría ser el siguiente:

- ¿Dónde requiere el sistema tecnología nueva y en qué medida?
- ¿Cómo encajarían OPC UA y TSN en la arquitectura del sistema y cómo deberían configurarse?

Es importante tener en cuenta que cada sistema comienza (o termina) en el dispositivo final. Estos dispositivos tan generalizados suelen tener recursos limitados. Históricamente, la OPC UA no se utilizaba en dispositivos con potencia de cálculo, memoria o fuente de alimentación limitada. Además, el soporte completo de TSN requiere un hardware específico para poder ofrecer capacidades en tiempo real. ¿Qué nivel de mejoras necesitaría el dispositivo final para ser compatible con las nuevas tecnologías? ¿Qué debe hacerse exactamente a fin de preparar los dispositivos finales para la Industria 4.0 y MoT (Internet industrial de las cosas)? La habilitación de dispositivos con recursos limitados para su uso con OPC UA y TSN puede ser el aspecto más difícil de su implementación.

Habilitación de OPC UA y TSN en dispositivos terminales de ABB

Un equipo de ABB con competencias transversales habilitó la tecnología OPC UA en tres dispositivos finales: un caudalímetro másico ABB FCB400 Coriolis, un transmisor de nivel láser ABB LLT100 y un controlador universal de motor ABB UMC. La descripción detallada de la habilitación de OPC UA se tratará con más detalle en un artículo posterior.

Durante la evaluación de OPC UA, el equipo abordó la habilitación de TSN en los tres prototipos, utilizando equipos de infraestructura de terceros. La configuración de prueba utiliza varios conmutadores TSN (de TTTech), dos PC industriales y los prototipos de terminales de ABB →03. Para la configuración de prueba se utiliza el software del prototipo, combinando las herramientas heredadas de línea de comandos con nuevas tecnologías como NETCONF (Network Configuration Protocol) y YANG, un lenguaje de modelado de datos.



02

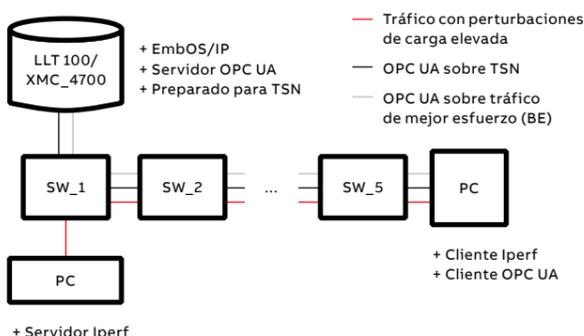
Con la configuración de los tráficos teniendo en cuenta las prioridades de tiempo (en inglés «time-aware shaping - TAS»), la infraestructura de conmutación de TSN puede ofrecer intercambio de datos en tiempo real, con una precisión de hasta microsegundos. No obstante, los dispositivos terminales con recursos limitados a menudo no pueden ajustar los tiempos de transmisión de datos a las ventanas de envío de los conmutadores TSN, que tienen un nivel granular de microsegundos. Para analizar las consecuencias en tales circunstancias, este escenario se abordó en los primeros pasos de la evaluación de TSN.

La evaluación se centró en los requisitos de la aplicación, como la duración de los ciclos de control (1 a 5 ms) y la cantidad de datos intercambiados (normalmente, una operación de lectura-escritura con diversas variables). En la

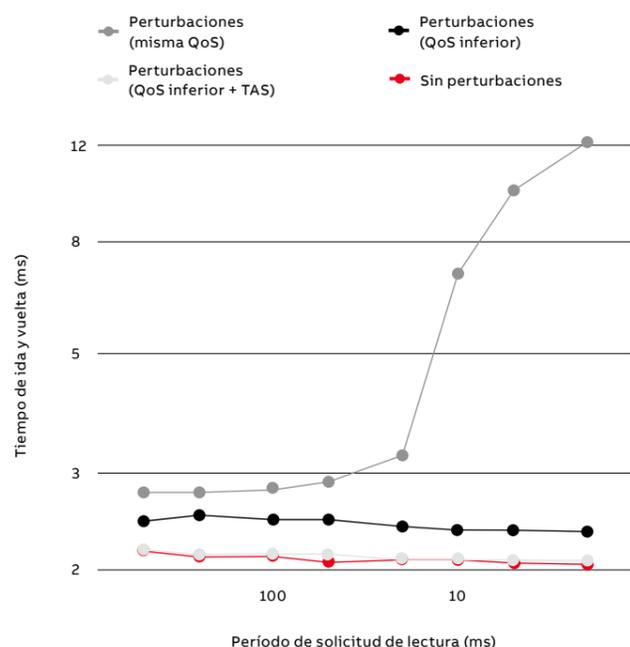
primera fase del proyecto se evaluó la latencia y la fluctuación del tráfico OPC UA en escenarios con diferentes cargas de tráfico. La sincronización de la aplicación y la integración del sistema para TSN serán el centro de atención de la segunda fase del proyecto, que se abordará en un artículo futuro.

Resultados y repercusiones

La evaluación de la habilitación para TSN demostró que la latencia del intercambio de datos de OPC UA puede reducirse significativamente y vincularse a una expansión más restringida. →04 muestra la diferencia de latencia en las solicitudes de lectura de OPC UA hacia y desde el servidor OPC UA integrado (en este caso, el LLT100) en una red en la que el 95 % de la producción lo consumen las perturbaciones del tráfico, y con especial referencia a la calidad del servicio (QoS). Esto indica que solo con la introducción de la calidad del servicio se reduce la latencia, a pesar del elevado volumen de perturbaciones del tráfico. La calidad del servicio en los conmutadores TSN puede distinguir mensajes basados en ocho niveles de prioridad para garantizar que se envíen primero los de mayor importancia. Con mecanismos de TSN como la configuración del tráfico teniendo en cuenta las prioridades de tiempo, la latencia de OPC UA se acorta aún más y gana estabilidad. Es evidente que incluso un soporte básico de TSN en el software de un dispositivo final mejora el determinismo en el acceso a datos, utilizando una infraestructura preparada para TSN.



04



05

La evaluación de TSN demostró que la latencia del intercambio de datos de OPC UA puede reducirse significativamente.

Los conceptos de software desarrollados en el marco del proyecto evolucionarán en la segunda fase de implantación de TSN, que se centrará en la integración de dispositivos terminales automatizados en sistemas habilitados para TSN.

El proyecto MoT Device permitió nuevos prototipos de dispositivos con OPC UA. De hecho, el desarrollo de productos ya ha comenzado para algunos de los dispositivos en cuestión. Otra ventaja es que el proyecto de investigación ha permitido disponer de herramientas y buenas prácticas para la habilitación de OPC UA. Por ejemplo: de un generador de códigos automatizado que traduce los elementos de desarrollo (como los archivos de descripción del dispositivo) a código C, listo para su compilación y carga en el dispositivo, para su uso con un servidor OPC UA. Otro

Fotografía: ©istockphoto.com/milanvirjevic

— 03 Configuración de la prueba de evaluación de TSN. El elevado volumen de perturbaciones del tráfico se generó utilizando Iperf-2.0.5, una herramienta muy usada para realizar pruebas de redes.

— 04 Latencia en solicitudes de lectura de OPC UA con perturbaciones del tráfico en redes TSN.

— 05 La Industria 4.0 desempeñará un papel esencial en el futuro de la automatización industrial. ABB está contribuyendo en los trabajos efectuados tanto con OPC UA como con TSN para armonizar y normalizar la Industria 4.0.

ejemplo son las directrices del modelo de integración de dispositivos (DI), que ayudan a los desarrolladores de diferentes ámbitos a representar la lógica empresarial del dispositivo de forma normalizada y funcional.

Un punto de inflexión para la automatización industrial

Los conmutadores preparados para TSN que ofrecen el determinismo previsto en las redes ya están disponibles en el mercado. También se comercializa ya el software cliente-servidor OPC UA, como producto listo para su integración. Y próximamente estará disponible la extensión OPC UA PubSub, más adecuada para aplicaciones de alto rendimiento. Según la OPC Foundation [2], «PubSub permite una mayor adopción de OPC UA en los niveles más profundos de las zonas de producción, donde los controladores, sensores y dispositivos integrados suelen necesitar comunicaciones optimizadas, de baja potencia y baja latencia en las redes locales».

Los dispositivos finales de ABB ya pueden habilitarse para el soporte básico de TSN. En un futuro no muy lejano estará disponible el soporte TSN completo, incluido el hardware. La integración completa del sistema de TSN sigue siendo, en gran medida, una cuestión abierta: los proveedores de conmutadores no buscan soluciones para la integración completa del sistema, sino módulos suplementarios para la configuración de la red. Los proveedores de soluciones de automatización y los integradores de sistemas, como ABB, tienen los conocimientos técnicos de los sistemas de automatización, las herramientas de ingeniería propias y la especialización pertinente para decidir la magnitud de la aplicación e integración de TSN. →05. En consecuencia, los proveedores de soluciones de automatización, los fabricantes de equipos de red y los integradores de sistemas continúan colaborando para crear mecanismos de integración normalizados para TSN que puedan aplicarse en todo el sector.

Los representantes de ABB están impulsando de forma activa los esfuerzos de normalización tanto de OPC UA como de TSN.

Para que los elementos básicos de la Industria 4.0 se conviertan en un paradigma tecnológico de uso generalizado deben armonizarse y normalizarse.



05

Los representantes de ABB están impulsando de forma activa los esfuerzos de normalización tanto de OPC UA como de TSN. La comunidad relacionada con la normalización está incorporando cada vez más agentes que ofrecen nuevas consideraciones que, a su vez, aportan nuevas características que deben armonizarse con las definidas anteriormente. La unificación a tal escala requiere un esfuerzo considerable. No obstante, el avance es evidente y cada vez más visible. ●

Reconocimiento

Este artículo no habría sido posible sin las ideas, el trabajo y la dedicación de todo el equipo del proyecto. Mi agradecimiento en especial a Francisco Mendoza, Roland Braun, Philipp Bauer y Thomas Gamer.

EL FUTURO DIGITAL

El aumento de valor en los proyectos industriales con IA mediante la coinnovación

ABB ha desarrollado un enfoque de cuatro pasos sobre la coinnovación para proyectos de análisis e inteligencia artificial. Sobre la base de los conocimientos en el dominio de la ingeniería y de la experiencia en la ciencia relacionada con los datos, el enfoque permite que ABB, sus socios y sus clientes puedan crear conjuntamente soluciones avanzadas de análisis e inteligencia artificial (IA).

01 Enfoque de ABB de cuatro pasos sobre la coinnovación para análisis avanzados e inteligencia artificial.

Las aplicaciones de análisis avanzado e inteligencia artificial (IA) están ganando terreno en la automatización industrial, lo cual permite mayores niveles de autonomía [1-2]. No obstante, la IA es complicada, y el mero hecho de combinarla con la automatización no aumenta el valor de un proyecto: un valor añadido exige concentración de la atención, alta cualificación y suficientes datos fiables. Cuando se aplican análisis avanzados e IA a oportunidades idóneas y bien definidas se puede generar un valor añadido considerable como parte de una solución completa. Puede garantizar este valor la conjunción de experiencia en la ciencia de los datos, una comprensión clara del dominio y conocimientos especializados de ingeniería. La investigación y el desarrollo colaborativos, en los que el conocimiento y la experiencia se comparten y aprovechan, pueden ser la base de este proceso. Con los expertos y la experiencia adecuados de los que dispone ABB, se ha desarrollado un enfoque normalizado de la coinnovación para orquestar esta colaboración esencial.

El análisis avanzado y la IA, aplicados a oportunidades bien definidas, desbloquean el valor como parte de una solución integral.

Vagamente inspirado en el enfoque CRISP-DM [3], el nuevo enfoque sistemático de ABB con cuatro pasos se ha adaptado para ejecutar proyectos de coinnovación en analítica avanzada, aprendizaje automático (*machine learning*) e IA con socios y clientes. Aunque se describe como un enfoque de cuatro pasos, en la práctica es un proceso iterativo, ya que el conocimiento y la comprensión que se generan durante la colaboración propician la generación de más ideas. En los últimos años, los expertos de ABB han aplicado este proceso con clientes de una serie de sectores –productos químicos, automoción y servicios públicos, entre otros– para centrar esfuerzos, utilizar y generar datos de calidad a fin de aumentar el valor de los proyectos de análisis avanzado e IA [4-5].

A cuatro pasos de aumentar el valor: la coinnovación
El sistema de coinnovación define procesos y objetivos en pasos bien estructurados para que los proveedores y clientes del ámbito de la automatización puedan saber dónde están y dónde quieren estar en cualquier momento de un proyecto → 01.

- Paso 1 de la coinnovación: identificación y articulación de la propuesta de valor
- Paso 2 de la coinnovación: inspección y recogida de datos
- Paso 3 de la coinnovación: modelización en relación con IA y análisis
- Paso 4 de la coinnovación: implantación

Proposición de valor

¿Cuáles son las ventajas y desventajas para el cliente?
¿Puede ayudar el análisis de datos?
Aprovechar el conocimiento de dominio
Pasarse de una propuesta de valor a una pregunta específica de IA/análisis

¡DESARROLLAR LO CORRECTO!



Datos disponibles

Explorar los datos disponibles
Planificar la recogida de datos
Recoger datos de muestra
Explorar los datos y formular hipótesis
Limpiar y preparar los datos

¡UTILIZAR LOS DATOS CORRECTOS!



Técnicas de IA y análisis

Desarrollar IA y análisis
Diseño basado en la pregunta de IA / Análisis, datos disponibles y conocimiento del dominio
No existe ningún manual para seleccionar el mejor enfoque

¡CONOCER LOS MÉTODOS!



Implantación

Validar los resultados en la flota real
Desarrollar la mejor visualización con el usuario final
Optimizar la solución hacia la arquitectura SW
Difundir el conocimiento

¡QUE PUEDA REPLICARSE!



01

Paso 1: Comenzando con la fase de identificación, en los seminarios presenciales con clientes y partes interesadas de ABB se identifican los «puntos débiles» (problemas y dificultades) y las partes interesadas relevantes y, a continuación, se desarrolla una propuesta de valor: la promesa de un valor o valor percibido que se comunicará, proporcionará y reconocerá. De este modo, el problema de IA industrial queda formulado.

Paso 2: El acceso a los datos correctos con la calidad adecuada es fundamental para el éxito de los proyectos de análisis avanzados y desarrollo de IA. La inspección y la recopilación de datos garantizan la satisfacción de estas necesidades.

Benjamin Kloepper
Martin W. Hoffmann
ABB Corporate Research
Ladenburg, Alemania

benjamin.kloepper@de.abb.com
martin.w.hoffmann@de.abb.com

James Ottewill
ABB Corporate Research
Cracovia, Polonia

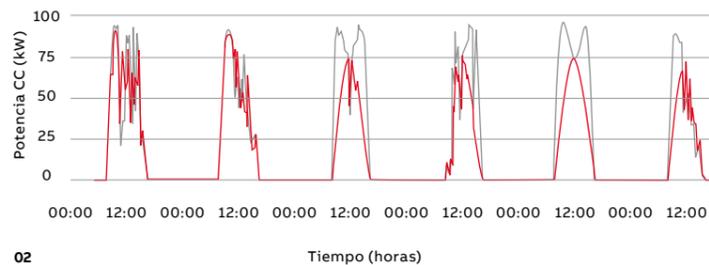
james.ottewill@pl.abb.com



En primer lugar, los científicos de dominios y de datos identifican los datos necesarios para abordar el problema de IA industrial mediante seminarios de un día de duración o entrevistas, lo cual facilita el intercambio de conocimientos.

En segundo lugar, se evalúa la idoneidad de los datos ya disponibles. Se determinan los datos que faltan. Los expertos también tienen en cuenta que la fusión de datos heterogéneos procedentes de diversas fuentes (p. ej., datos de señales, datos de alarmas y eventos, datos empresariales) también podría ser de ayuda para propuesta de valor.

Si la calidad o la cantidad de los datos es insuficiente, se puede organizar una campaña de recopilación de datos, instalar sensores adicionales o sustituir los datos de una fuente no obvia por datos que faltan [6].



02

Paso 3: Los expertos de ABB en creación de modelos de IA comienzan esta fase explorando los datos y preparándolos para la modelización. Se detectan y abordan el resto de problemas de calidad de los datos [7], se identifican las correlaciones, se diseñan las características y se generan hipótesis. Las lecciones aprendidas en esta fase se utilizan para hacer ajustes en el problema de la IA industrial.

A continuación, se inicia el «Ciclo de Entrenamiento - Validación - Ajuste - Prueba». Aquí, el científico de datos diseña y entrena modelos basados en datos, corrobora el modelo en un conjunto de datos de validación (o en validación cruzada) y perfecciona los hiperparámetros del modelo o rediseña las características, según sea necesario. Estos enfoques abarcan desde los basados exclusivamente en datos, como las redes neuronales, hasta los modelos basados principalmente en las leyes de la física, e incluyen todas las opciones intermedias. Se desarrollan enfoques híbridos para aprovechar los puntos fuertes y reducir los débiles de cada modelo individual. El diseño del modelo se guía gracias a la combinación de conocimientos especializados sobre el dominio y la

ciencia de los datos: desde la adecuada definición de entradas, salidas y estructura del modelo, hasta la selección del enfoque de modelización apropiado y la definición de una función de costes que cuantifique con precisión el rendimiento del modelo.

Tras la validación, el modelo se prueba con un nuevo conjunto de datos sobre el que los algoritmos no han recibido entrenamiento. Además, se utilizan herramientas de interpretación de modelos a fin de investigar el razonamiento utilizado en modelos de «caja negra», como bosques aleatorios o redes neuronales artificiales.

Las interfaces de usuario simuladas, basadas en datos y predicciones reales, se crean al principio, lo que potencia la evaluación de la modelización y del flujo de trabajo. Además, al compartir continuamente los resultados y el conocimiento con las partes interesadas y los clientes durante esta fase, ABB recibe comentarios cruciales para mejorar el modelo.

Paso 4: Durante la fase de implantación, los conductos de los datos y los flujos de trabajo del aprendizaje automático de la fase de modelización de IA se activan. Se requiere un sistema *in situ* para volver a entrenar a los modelos de aprendizaje automático (p. ej., nuevo entrenamiento bajo demanda, programado o basado en algún evento). Se utiliza un sistema de software para ejecutar la puntuación del modelo de aprendizaje automático y poner el resultado a disposición del usuario.

—
ABB aplicó el enfoque en cuatro pasos con clientes de toda una serie de sectores, como productos químicos, automoción y servicios públicos.

ABB decide, junto con el cliente, cómo instalar la solución de IA; p. ej., como panel de control web, integrado en el software existente *in situ* o tal vez como un asistente virtual.

Ejemplo de uso: supervisión del rendimiento en una planta de energía solar

El enfoque de ABB de investigación y desarrollo de cuatro pasos se ha aplicado con éxito en la creación de una solución analítica avanzada para la automatización industrial en ámbitos como los servicios públicos y las industrias de procesado, entre otros.



03

—
 02 El algoritmo distingue correctamente un rastreador averiado (rojo) de un sistema operativo normal (gris).

—
 03 La unidad digital e-mesh™ de ABB incorporará la solución definitiva de IA para la coinnovación como una solución de software complementaria a la solución base a fin de supervisar, optimizar y mejorar el rendimiento de los recursos energéticos distribuidos.

En un caso concreto, el enfoque de coinnovación de ABB ayudó a los expertos en datos y dominios que trabajaban en redes eléctricas públicas y empresas de electricidad, así como a equipos de investigación y desarrollo de Polonia, China, Suecia, Suiza y Alemania, a ofrecer una solución analítica avanzada e innovadora para supervisar el rendimiento de las plantas fotovoltaicas. A continuación, se presenta la solución en cuatro pasos para una planta solar.

Paso 1: Los sistemas de supervisión del estado pueden aumentar el tiempo de actividad y la producción y, en última instancia, disminuir los costes del ciclo de vida de una planta de energía solar. No obstante, la naturaleza distribuida y modular de estas instalaciones presenta dificultades, que se ven agravadas por lo remoto de su ubicación y su habitual configuración operativa sin operarios. En consecuencia, se necesitan sistemas de supervisión muy precisos y rentables que informen del rendimiento y la salud actuales de una planta y que indiquen la raíz de cualquier posible problema.

Paso 2: Los costes asociados a la instalación, la configuración y el mantenimiento de un sistema independiente de supervisión del estado, con sensores, cableado y requisitos de comunicación personalizados y de gama alta, afectarían de manera

rápida y negativa al valor que ofrecen este tipo de sistemas. En todo caso, como proveedor de tecnologías digitales avanzadas para la industria, ABB también era muy consciente de que las plantas solares ya utilizan sistemas de adquisición y almacenamiento importantes, como los sistemas SCADA, las unidades terminales remotas, los inversores y los sistemas de gestión del mantenimiento. Basándose en sus conocimientos en los dominios de las aplicaciones fotovoltaicas, la electrónica de potencia, la automatización y la supervisión del estado, ABB evaluó la utilidad de estos datos en relación con la propuesta de valor para formular adecuadamente la tarea analítica.

—
El enfoque de coinnovación de ABB ayudó a los equipos de expertos del cliente a ofrecer una solución analítica avanzada para supervisar el rendimiento de las plantas fotovoltaicas.

Paso 3: Aprovechando el conocimiento exhaustivo en la materia y los sólidos fundamentos analíticos, los científicos de ABB diseñaron e implementaron métodos avanzados para resolver la tarea analítica: se formularon correctamente las funciones de entradas, salidas y costes de los modelos basados en datos para los componentes de una planta. El sistema que se obtiene es capaz de extraer de los datos información útil que permite actuar en respuesta →02, p. ej., índices de degradación, diagnóstico de fallos y análisis de las raíces del problema.

Paso 4: Se desarrolló una solución holística que contemplaba todas las fases de análisis, desde la ingesta de datos hasta su limpieza, pasando por la preparación y la implantación del modelo. Teniendo en cuenta la experiencia del usuario a lo largo del proceso, ABB pudo aumentar la comprensión y la transparencia. En la actualidad, el desarrollo se incluye como un aspecto de la aplicación de e-mesh™ Analytics Suite, y será una aplicación que funcione con la solución digital ABB Ability™ e-mesh™ Monitor →03, basada en la plataforma digital en la nube que agrega datos de activos de energía distribuidos. La novedosa solución es fácil de implantar y su escala es adaptable. Además, representa la posibilidad de obtener información empresarial sobre múltiples activos en un único lugar.

Ejemplo de uso: mantenimiento predictivo de equipos giratorios estándar

ABB también aplicó el método de coinnovación al desarrollo de una solución para realizar el mantenimiento predictivo de los equipos giratorios en una planta de procesado →04 [8-9].

En este caso, las partes interesadas de los clientes, incluidos los directores de planta, los operarios y los ingenieros de fiabilidad, colaboraron con científicos de datos de ABB, expertos en activos de equipos giratorios y profesionales del denominado «pensamiento de diseño» (*design thinking*), para crear una propuesta de valor que permitiera el mantenimiento predictivo de los equipos giratorios. En una planta de este tipo suele haber numerosos motores y bombas de baja tensión. La avería de este tipo de equipos y las consiguientes actividades de mantenimiento no programadas son mucho más costosas que el mantenimiento habitual. Y dado que son muchos, no es posible registrar manualmente los datos y analizar el estado de cada uno de ellos, de modo que suelen estar en funcionamiento hasta que se produce un fallo, lo que se traduce en elevados costes de sustitución de activos.

Paso 1: La propuesta de valor definitiva se formuló así: «proteger las operaciones frente a averías no programadas de las bombas estándar en las dos próximas semanas». Esto se tradujo en una tarea de análisis: «predecir si una bomba fallará en las próximas dos semanas y, en caso afirmativo, por qué».

—
 Junto con las partes interesadas de los clientes, ABB desarrolló una solución para realizar el mantenimiento predictivo de los equipos giratorios en una planta de procesos.

Paso 2: De la inspección de los datos, que ya se habían recopilado, se dedujo que no eran suficientes para efectuar el análisis. Solo se instalaron sistemas de supervisión del estado en las grandes bombas de mayor valor. Y, sin embargo, los dispositivos de menor coste también pueden influir significativamente en los costes de



—
 04 La aplicación del enfoque de coinnovación de cuatro pasos a las capacidades de supervisión del estado y de mantenimiento predictivo de las máquinas giratorias permite a los clientes aumentar la eficiencia de sus plantas.

—
 05 La solución de IA para equipos giratorios estándar permite a los operadores predecir averías en las bombas en las dos semanas siguientes.



05

mantenimiento. Estos dispositivos no se supervisaron en la misma medida. El cliente seleccionó, con ayuda de ABB, una planta piloto para instalar en ella la tecnología de detección inalámbrica de ABB y poder generar los datos necesarios. ABB estableció una infraestructura de recopilación de datos adecuada para que los científicos de datos de ABB también tuvieran acceso a los mismos.

—
 El trabajo conjunto y el intercambio de conocimientos entre los científicos de datos y los expertos en dominios, los clientes y las partes interesadas añaden valor al proceso de automatización.

Paso 3: Los científicos de datos y los expertos en activos de ABB analizaron los datos entrantes y pudieron identificar indicios de posibles fallos →05. Los casos en los que se identificaron síntomas de avería se comunicaron de inmediato al cliente, que pudo investigar y confirmar los problemas detectados. Con muestras de datos de sistemas sin fallos y casos de

fallo confirmados, los científicos de datos de ABB pudieron entrenar a un modelo de aprendizaje profundo que predice satisfactoriamente si una bomba fallará en las dos semanas siguientes.

Paso 4: El trabajo de investigación sobre el mantenimiento predictivo de bombas estándar pasará a formar parte de la cartera de rendimiento de activos de ABB: una oferta de servicio de valor añadido en la que los expertos en activos de ABB y los gestores de mantenimiento del cliente supervisan los equipos en los que se aplican los algoritmos de inteligencia artificial de ABB [9]

Forme parte del proceso de coinnovación

Basándose en su nuevo marco de 4 pasos para respaldar la investigación y el desarrollo colaborativos, ABB podría desarrollar de forma eficiente soluciones de IA industrial a medida para múltiples clientes. El trabajo conjunto y el intercambio de conocimientos entre los científicos de datos y los expertos en dominios, los clientes y las partes interesadas añaden considerable valor a esta iniciativa. ABB invita a sus clientes y socios a colaborar con sus científicos de datos y expertos en dominios para experimentar este proceso iluminador por sí mismos y adaptarlo a las necesidades específicas del proyecto en cuestión. •

Referencias

[1] T. Gamer y A. Isaksson, «Autonomous systems», ABB Review 04/2018 pp. 8-11.

[2] T. Gamer, et al., «The Autonomous Industrial Plant – Future of Process Engineering, Operations and Maintenance», en 12th International Conference on Dynamics and Control of Process Systems (DYCOPS), vol. 52-1, 2019, 435-460.

[3] R. Wirth y J. Hipp, «CRISP-DM: Towards a standard process model for data mining», 4th International Conference on the Practical Applications of Knowledge Discovery and Data Mining, 2000, pp. 1-11.

[4] B. Schmidt, et al., «Industrial Virtual Assistants: Challenges and Opportunities»,

ACM International Joint Conference and International Symposium on Pervasive and Ubiquitous Computing and Wearable Computers, Singapur, 2018.

[5] M. Atzmueller, et al. «Big data analytics for proactive industrial decision support», atp magazin vol. 58-09, 2016, pp 62-74.

[6] J. Ottewill, et al., «What currents tell us about vibrations», ABB Review 01/2018, pp.72-79.

[7] R. Gitzel, et al., «Data Quality in Time Series Data: An Experience Report», 18th IEEE Conference on Business Informatics (CBI), 2016.

[8] I. Amihai, et al. «An Industrial Case Study

Using Vibration Data and Machine Learning to Predict Asset Health», 20th IEEE Conference on Business Informatics (CBI), 2018.

[9] R. Gitzel, et al., «Transforming condition monitoring of rotating machines», ABB Review 02/2019, pp. 58-63.

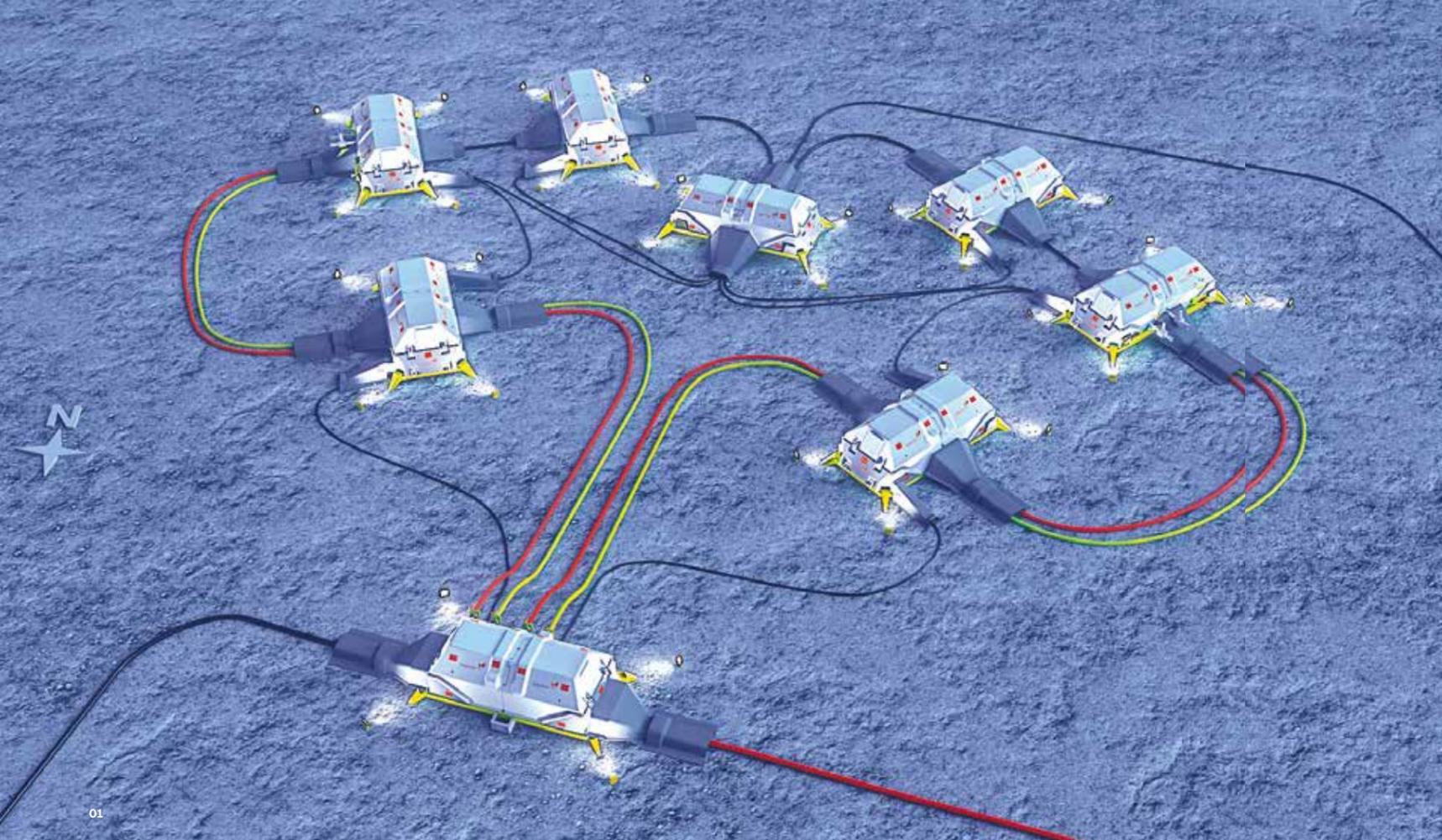
Rendimiento extremo



La innovación en el fondo del océano es tan peligrosa y difícil como se puede imaginar, lo que la convierte literalmente en un banco de pruebas para las tecnologías que permiten el funcionamiento y la supervisión a distancia. Las lecciones aprendidas en este contexto también pueden aplicarse en otros lugares.

- 44 La tecnología submarina de ABB está preparando los fondos marinos para un nuevo futuro energético
- 50 Sentando las bases de la conversión de energía submarina
- 56 A200-H: la nueva referencia en turbocompresión de una sola etapa





01

RENDIMIENTO EXTREMO

La tecnología submarina de ABB está preparando los fondos marinos para un nuevo futuro energético

El nuevo diseño modular ultrafiabile y la cualificación del exclusivo sistema de electrificación de ABB hacen más posible que nunca la producción en aguas profundas y remotas. Los impecables resultados de las pruebas en el mundo real muestran que el sistema está listo para sumergirse en las profundidades y que ya se ve en el horizonte una fábrica completa de producción submarina.

—
01 Imagen artística de una instalación submarina de energía y bombeo obtenida de un caso práctico de Equinor.

—
Stian Ingebrigtsen
ABB AS Energy Industries
Bergen, Noruega

stian.ingebrigtsen@no.abb.com

—
Svein Vatland
ABB AS Energy Industries
Oslo, Noruega

svein.vatland@no.abb.com

—
Heinz Lendenmann
ABB System Drives
Västerås, Suecia

heinz.lendenmann@se.abb.com

La demanda mundial de energía en forma de combustibles fósiles persiste, a pesar de que la disponibilidad y accesibilidad de los campos de petróleo y gas maduros disminuye [1]. Para satisfacer esta demanda, los operadores internacionales de petróleo y gas se están adentrando en entornos cada vez más exigentes y remotos, en las aguas ultraprofundas [2]. Aunque antes era una opción demasiado imponente y costosa, el desarrollo de nuevas tecnologías inteligentes, fiables y rentables puede respaldar la capacidad del sector del petróleo y el gas para trabajar en el entorno submarino remoto y seguir siendo rentable. Los avances en las soluciones de electrificación submarina para el transporte, la distribución y la conversión de energía podrían permitir un día colocar una instalación completa de producción de gas y petróleo en el mar, con lo que las empresas dedicadas a etapas anteriores del proceso podrían explorar y explotar depósitos más profundos, escasos y remotos →01. Pero antes de que esto pueda ocurrir, la industria requiere equipos muy fiables que prácticamente no precisen mantenimiento, porque los costes de recuperar equipos del fondo marino para su reparación serían prohibitivos.

Con este propósito, ABB inició en 2013 un proyecto industrial conjunto (JIP) de 100 millones de dólares con Equinor (antes Statoil), Total y Chevron, que cuenta con el apoyo del Consejo de Investigación de Noruega [3]. Partiendo de su posición dominante como líder mundial en electrificación y automatización, ABB ha completado el desarrollo de un sistema de electrificación destinado al transporte, la distribución y la conversión de energía para bombas submarinas y compresores de gas, con una capacidad máxima de 100 MW, en profundidades de agua de hasta 3000 metros y unas distancias de transporte de hasta 600 km; y todo ello con un mantenimiento escaso o nulo durante una vida útil de hasta 30 años, un paso importante hacia la consecución de una fábrica submarina.

El inconveniente de las superestructuras

En la actualidad, las instalaciones de producción de hidrocarburos en alta mar suelen depender de la energía generada localmente por turbinas de gas situadas en superficie (*topside*), en una plataforma fija

o flotante (o, lo más habitual, en múltiples plataformas) o bien en buques. Para fines submarinos, la energía se transporta a los equipos a través de múltiples cables situados cerca de los aparatos que la precisan, como bombas y compresores, en el lecho marino: las denominadas soluciones de largo alcance. Las instalaciones de superficie (*topside*) exigen un mantenimiento continuo, una logística y un soporte complicados; y dependen de la generación de energía que emite un nivel excesivo de gases de efecto invernadero, es decir, que resulta un esfuerzo costoso.

La capacidad de distribuir, transportar y convertir energía debajo de la superficie y a grandes distancias de manera fiable cambiaría las reglas del juego para la industria del petróleo y el gas. Al instalar estos sistemas de electrificación cerca del punto de carga, se reducen el espacio y el peso en las instalaciones de superficie, se reduce el tiempo de respuesta a los pozos, se reducen las demandas de suministro eléctrico y se mitigan las emisiones de gases de efecto invernadero. En consecuencia, ABB ha aportado sus conocimientos técnicos a este proyecto en expansión, cuya finalización es clave para la materialización futura de una fábrica completa en el lecho marino.

—
Las soluciones de electrificación submarina podrían permitir un día la colocación de una instalación de producción de gas y petróleo en el fondo del mar.

—
Un diseño riguroso facilita la electrificación submarina
ABB ha utilizado un innovador enfoque de diseño para desarrollar una solución de electrificación modular y flexible basada en sus acreditadas tecnologías:

- Accionamiento de velocidad variable submarino (VSD)
- Aparata de media tensión (MT) submarina
- Control submarino y distribución en baja tensión (BT)

ABB se basó en sus conocimientos técnicos y experiencia en energía submarina, tras presentar el



02a



02b

primer transformador submarino del mundo en 1999, para desarrollar equipos versátiles, robustos, potentes y fiables. Para el éxito de este proyecto ha sido esencial un profundo conocimiento de las propiedades eléctricas y térmicas de los equipos, como componentes, subconjuntos y conjuntos en condiciones de tensión extrema.

Teniendo en cuenta estas exigencias, ABB implantó un riguroso esquema de cualificación y se basó en las recomendaciones y etapas del Nivel de Preparación Técnica (TRL) definidas en DNV RP-A203 para componentes, equipos y conjuntos en exploración y explotación de hidrocarburos en alta mar. Se adoptaron los requisitos para sistemas y equipos de superficie (*topside*), la norma API 17F para Sistemas de Control en Producción Submarina, incluidas pruebas térmicas, de vibraciones y de presión, así como las pruebas de vida útil acelerada y los requisitos propios de Equinor: TR3025 (p. ej., márgenes de diseño del sistema y niveles de inmunidad del equipo). Este enfoque sistemático del proyecto y el diseño, junto con una interacción profunda con expertos en la materia de los socios del proyecto conjunto, permitió identificar cambios en el diseño y realizar mejoras desde el principio, garantizando así la fiabilidad dentro de los límites especificados para una gestión de riesgos satisfactoria. De este modo, el sector del petróleo y el gas tendrá la seguridad de que toda la tecnología desarrollada está lista para ser utilizada en el entorno ultraprofundo más desafiante

—
El sistema de ABB suministra energía, recorriendo una distancia de 600 km, a los aparatos que la precisan en el fondo marino, que se encuentran a profundidades máximas de 3000 m

La cualificación es la reina: el módulo electrónico submarino

El sistema de control y protección submarino es el cerebro de la solución general de energía submarina y consta de conjuntos principales para la distribución, conversión, alimentación auxiliar y control de la alimentación eléctrica. El nuevo sistema debe suministrar energía, recorriendo hasta 600 km, a los aparatos que la precisan en el fondo marino, que se encuentran a profundidades máximas de 3000 m, algo que nunca antes se había hecho.

Este descomunal desafío se abordó adoptando un enfoque pragmático y gradual en el diseño de todos los equipos y sistemas, incluido el sistema de control, desde la fase de concepción hasta la de prueba del sistema →02-03. Se establecieron procedimientos para aprender los comportamientos y los límites de los materiales, las piezas, los componentes, los dispositivos, los subconjuntos y los conjuntos. Las simulaciones y los exámenes de laboratorio y de campo permitieron efectuar modificaciones cíclicas del diseño tras las sucesivas pruebas →02. Por ejemplo, los dispositivos de control se probaron en entornos de difícil acceso para reproducir condiciones submarinas remotas. En ocasiones, en las condiciones ambientales más adversas, se registraron desviaciones intermitentes de la prueba que desaparecieron al concluir tales condiciones. Para registrar las condiciones que provocaron las perturbaciones, los expertos recopilaban datos del dispositivo durante las pruebas y después llevaron a cabo análisis para averiguar la raíz del problema. Al basarse en esta capacidad de aprendizaje a partir de iteraciones de diseño/prueba, ABB pudo corregir incluso problemas de diseño difíciles de detectar, y cumplir todas las certificaciones de componentes, subconjuntos y conjuntos. Este proceso condujo a la cualificación del módulo de electrónica submarina (SEM) antes de realizar las pruebas de campo casi reales →03.



03

—
02 Los componentes de control se diseñaron, se probaron, se modificaron y volvieron a someterse a prueba. Se muestran dos etapas:

02a Una primera etapa de diseño.

02b La prueba final de cualificación del controlador. El diseño del producto tuvo un valor incalculable para el desarrollo del prototipo definitivo del producto.

—
03 El prototipo final SEM PEC, mostrado aquí sobre su armazón de montaje, cumplía los requisitos medioambientales diseñados por el sector petrolero en las normas API 17F, ISO 13628-6 y Statoil TR1233v7.

—
Nota al pie

1) Si desea información más detallada, consulte el artículo «Sentando las bases de la conversión de energía submarina» en la página 50.

Diseño y cualificación del accionamiento de velocidad variable (VSD)

Los accionamientos son la esencia de la solución de energía submarina. Estos dispositivos controlan la velocidad y el par de los motores submarinos en aplicaciones de inyección, bombeo de refuerzo y compresión de agua de mar en el lecho marino. En consecuencia, los VSD se fabricaron de forma que fueran modulares, compactos, robustos y ultrafiabiles, y que no precisaran mantenimiento durante un máximo de 30 años¹.

El accionamiento convierte la energía a una tensión de salida variable de entre 2,3 y 7,2 kV o superior. El intervalo de frecuencias de funcionamiento está limitado a 200 Hz, excepto para cargas del compresor de alta velocidad inferiores a 5 MVA. El VSD lleva integrado un filtro de salida para garantizar que la calidad de la energía y los transitorios de tensión se mantienen dentro de las tolerancias del motor y del cable.

Un transformador de accionamiento integrado recibe alimentación de la aparamenta submarina a la tensión nominal (11-33 kV), con una frecuencia de alimentación estándar de 50/60 Hz o bien con una impresionante baja frecuencia de LFAC 16 % Hz. Esto permite transportar la energía por un cable a distancias muy largas, de hasta 600 km.

El diseño modular del VSD de ABB puede ampliarse para que haga funcionar a serie de motores submarinos con potencias aparentes de hasta 18 MVA. De este modo, incluso el mayor compresor del lecho marino puede alimentarse con dos unidades de accionamiento en configuración paralela →04.

Los VSD (y la aparamenta de MT) se colocan en el interior de unos depósitos llenos de aceite y con compensación de la presión; el aceite actúa para aislar y enfriar los componentes eléctricos.

El diseño facilita un mantenimiento mínimo, ya que está basado en una sólida topología celular con

semiconductores de potencia y redundancias incorporadas en los circuitos de control y potencia. Si se avería una célula de potencia, se evita que el fallo pase a las células colindantes; el accionamiento sigue funcionando aunque se pierdan una o dos células por fase. La fiabilidad se mejora aún más con la incorporación de un sistema de gestión de fallos que es redundante en sí mismo en varios niveles.

—
A partir del aprendizaje a través de iteraciones de diseño/prueba, ABB pudo corregir problemas de diseño difíciles de detectar.

Durante una prueba de presión a 345 bar realizada sin ningún problema durante más de 3000 horas en las instalaciones de investigación y desarrollo de Equinor en Trondheim, los principales componentes y subconjuntos del accionamiento, incluidas las fibras ópticas y los conectores, demostraron estar listos para realizar operaciones submarinas reales a alta presión.

Diseño y cualificación de la aparamenta submarina
La aparamenta submarina de media tensión de ABB se utiliza para distribuir energía a VSD y a otros aparatos situados en el lecho marino que la necesitan.

La aparamenta de nuevo diseño es compatible con hasta seis alimentadores, incluido un interruptor de entrada, o un interruptor para soportar dos unidades de aparamenta →05. La unidad de entrada de la aparamenta se conecta al secundario de un transformador reductor submarino o directamente a un cable de alimentación submarino cuyo origen está en la superestructura (*topside*) o en la costa. Los alimentadores se conectan a los aparatos submarinos que necesitan energía (accionamientos para bombas del lecho marino y compresores submarinos). Con una tensión nominal entre fases de 36 kV y una intensidad de barra de bus del principal de 1600 A, este diseño modular y de escala ampliable se puede adaptar a diferentes casos y configuraciones del sistema →05. La aparamenta incluye dos transformadores reductores auxiliares, que se utilizan para alimentar el sistema redundante de distribución de energía auxiliar como unidades recuperables independientes. Los interruptores de baja tensión en miniatura permiten la desactivación del sistema y la recuperación independiente de la carga auxiliar conectada; además, proporcionan protección contra fallos en el sistema



04



05

auxiliar, así como entrada de energía externa para actualizaciones del estado del sistema.

Tomando como base las tecnologías de interruptores de vacío de ABB, de uso generalizado, los componentes sumergidos en aceite se sometieron a pruebas de presión cíclica y estática, y a programas de prueba de tipo IEC/IEEE. La cualificación de los interruptores también incluyó pruebas de conexión-desconexión, con 16 % Hz de alimentación con corriente de cortocircuito nominal y asimetría máxima. Se fabricaron varios módulos de interruptores y, junto con las interfaces de control eléctricas y ópticas pertinentes, se sometieron a pruebas de tipo eléctrico y de resistencia mecánica y vibración para casos de funcionamiento y transporte, entre otras.

En una fase inicial se investigaron a fondo cuatro diseños diferentes de polos de interruptores a 1 atmósfera, con diferentes materiales de construcción y diseños. ABB realizó un prototipo del exitoso diseño del módulo con interruptor de cuatro alimentadores, y lo sometió a pruebas en Ratingen, Alemania.

Las pruebas en aguas poco profundas lo dicen todo
Aprovechando el éxito de las pruebas de laboratorio, ABB y sus socios del JIP efectuaron pruebas cruciales sobre el terreno, las denominadas pruebas en aguas poco profundas (SWT). En diciembre de 2017 se alcanzó un hito importante cuando ABB concluyó satisfactoriamente la primera de estas pruebas con un prototipo a escala real de un VSD de MT en el centro de pruebas de ABB en Vaasa, Finlandia. El accionamiento estuvo funcionando más de 1000 horas durante una prueba de «power in the loop» en una configuración en paralelo con la red. De este modo, la red eléctrica solo registró unos cuantos centenares de kilovatios de pérdidas. Cabe destacar que los componentes electrónicos y eléctricos tuvieron un comportamiento térmicamente superior en todas las condiciones de tensión ambiental que se dieron.

Las 3000 horas de pruebas en aguas poco profundas con la solución de electrificación en su totalidad y la evaluación TRL 4 sentaron las bases para el lanzamiento comercial.

En junio de 2019, ABB comenzó una prueba SWT crucial de 3000 horas con un prototipo de la solución de electrificación en su totalidad →06, consistente en dos accionamientos VSD configurados en paralelo →06a,b con aparata →06c,d y controles. La culminación triunfal de esta prueba y de la evaluación TRL4 por parte de ABB y sus socios del JIP sienta las bases para el próximo lanzamiento comercial de este extraordinario sistema de electrificación modular.

De la protección de un puerto al lanzamiento completo

Con un VSD capaz de ejecutar una carga de hasta 9 MVA y de soportar una carga de hasta 18 MVA, en configuración paralela, esta solución ultrafiable, flexible y de escala ampliable cubre la mayoría de las necesidades de energía submarina que la industria pueda desear. Además, la fuente de energía ahora puede estar en las instalaciones en superficie o, lo que es más importante, en la costa.

Con esta solución, la primera de su clase, ABB ha cumplido con creces los rigurosos requisitos de pruebas y certificaciones que exige el sector del petróleo y el gas. Los novedosos procedimientos de diseño y pruebas de ABB y la colaboración con los socios del proyecto industrial conjunto (JIP) han sido fundamentales para el éxito de este logro y generan confianza en que la solución de electrificación de ABB esté lista para aventurarse en las profundidades marinas. •

— 04 La imagen muestra dos accionamientos eléctricos submarinos configurados en paralelo.

— 05 La aparata modular se muestra con una configuración de cuatro alimentadores. La aparata de ABB con distribución de energía LFAC16 2/3 Hz permite salvar distancias muy grandes.

— 06 En la fotografía se ven los equipos utilizados para las pruebas en aguas poco profundas, finalizadas en 2019, junto con los elevadores submarinos.

06a El prototipo de aparata MVDU utilizado en junio de 2019 para las pruebas SWT.

06b Elevador submarino de MVDU en el puerto de Vaasa.

06c Uno de los prototipos de VSD utilizados en junio de 2019 para las pruebas SWT.

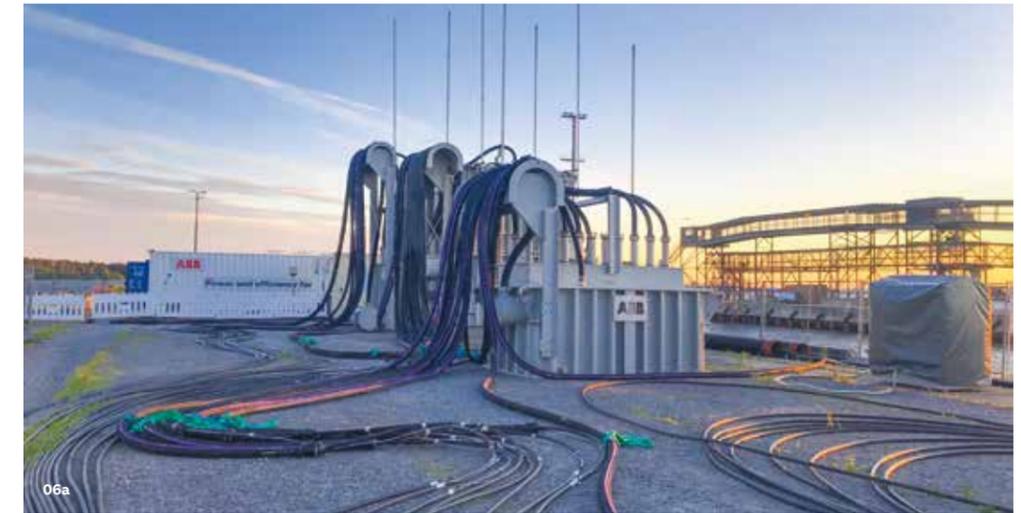
06d El elevador submarino de un prototipo de VSD utilizado en el puerto de Vaasa.

Referencias

[1] EIA, «predice un aumento del 28 % en el consumo de energía en 2040». Disponible en: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=32912> [Pág. consultada 28.11.2019].

[2] O. Oekland et al., «Steps to the Subsea Factory», en Proc. Offshore Technology Conference, 2013 Río de Janeiro, pp 304-313.

[3] J. O. Bugge y S. Ingebrigsten, 2017, «Subsea Power JIP – As Enabler for all Subsea Electric Power Production», en Proc. Offshore Technology Conference, Houston, Texas, EE. UU, pp. 2885-2895.



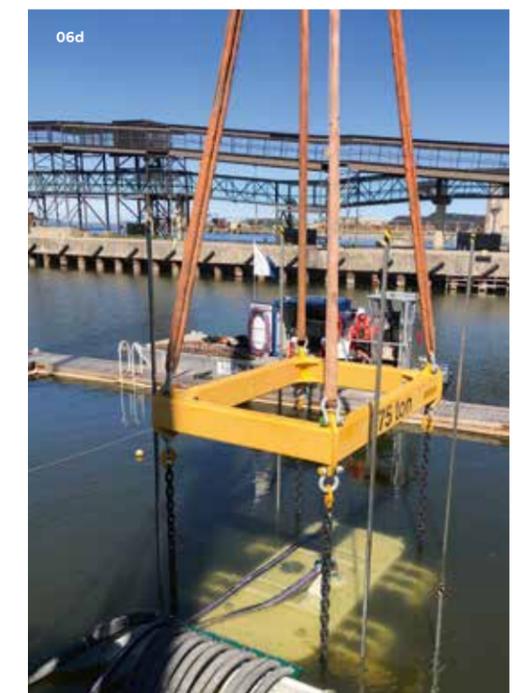
06a



06b



06c



06d

RENDIMIENTO EXTREMO

Sentando las bases de la conversión de energía submarina

En colaboración con socios industriales, ABB ha desarrollado un sistema de energía submarina para el sector del petróleo y el gas, más avanzado que probablemente cualquier otro sistema de su clase. Equipado con un accionamiento de velocidad variable con compensación de la presión, el sistema está a punto de concluir su proceso de cualificación de equipos, un paso adelante hacia instalaciones submarinas con accionamientos integrados para bombas y compresores.

01



—
01 Prototipo de accionamientos de velocidad variable submarinos listos para su utilización en una prueba en aguas poco profundas cerca de Vaasa, Finlandia.

Dado que el sector del petróleo y el gas explota los recursos marinos con una eficiencia cada vez mayor, se ha planteado una idea tentadora: ¿qué sucedería si todos los equipos eléctricos necesarios para impulsar y controlar los equipos de bombeo y compresión submarinos pudieran colocarse en el fondo marino, en las proximidades inmediatas de las estaciones de bombeo del petróleo y compresión del gas?

Tradicionalmente, estos sistemas eléctricos se han instalado en la costa o en la superestructura (*topside*) de las instalaciones en el mar. Pero si se colocaran en el suelo marino, se ahorraría espacio y peso en las instalaciones de la superficie, se reducirían enormemente los costes de los cables, se reduciría el tiempo de respuesta a las variables en los pozos y se reduciría considerablemente el gasto en suministro eléctrico, al tiempo que aumentaría la fiabilidad y se reducirían drásticamente los costes de mantenimiento.¹

—
Heinz Lendenmann
ABB System Drives
Västerås, Suecia

heinz.lendenmann@se.abb.com

Tor Laneryd
ABB Corporate Research
Västerås, Suecia

tor.laneryd@se.abb.com

Raphael Cagienard
Thomas Wagner
ABB System Drives
Turgi, Suiza

raphael.cagienard@ch.abb.com
thomas.wagner@ch.abb.com

Stian Ingebrigtsen
Svein Vatland
ABB AS Energy Industries
Bergen, Noruega

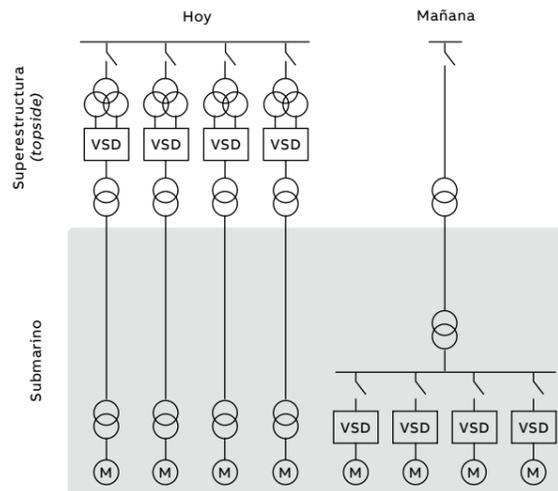
stian.ingebrigtsen@no.abb.com
svein.vatland@no.abb.com

Kim Missing
Esa Virtanen
ABB Transformers
Vaasa, Finlandia

kim.missing@fi.abb.com
esa.virtanen@fi.abb.com

—
¿Qué sucedería si todos los equipos eléctricos necesarios para impulsar y controlar los equipos de bombeo y compresión submarinos pudieran colocarse en el fondo marino?

Teniendo en cuenta estas ventajas, ABB, Equinor, Total y Chevron están en la fase final de un proyecto industrial conjunto (JIP) que ha desarrollado y probado tecnologías de distribución y conversión de energía submarina. Durante la primera parte del proyecto se construyó un prototipo (a escala real) del convertidor de accionamiento de velocidad variable (VSD), que se probó a finales de 2017 durante 1000 horas en aguas poco profundas →01. Un análisis del sector efectuado por ABB determinó que esta era la primera vez que un accionamiento de media tensión había funcionado con una carga de entre 9 y 12 MVA durante un período



02

prolongado mientras estaba sumergido en un entorno de agua de mar.

Recientemente se ha realizado una segunda prueba. Se basó en el uso de un segundo accionamiento con un diseño perfeccionado. Ambas unidades de accionamiento se configuraron con una conexión en paralelo para alcanzar mayores niveles de potencia, aunque añadiendo en este caso apartamentas submarina y controles para probar la totalidad del sistema de energía submarina.

Una tecnología innovadora

Los accionamientos de velocidad variable de ABB son la esencia del proyecto submarino. Estos gigantes de 50 toneladas accionan los motores eléctricos cercanos que hacen funcionar las bombas y los compresores de gas. De diseño modular, los VSD pueden impulsar una amplia gama de motores submarinos, con potencias comprendidas entre 0,5 y 18 MVA, tensiones de 2,0 kV a 7,2 kV y capacidad para accionar bombas de velocidad convencional y compresores de gas húmedo con valores nominales de 50 a 120 Hz, así como compresores de gas de alta velocidad, hasta 18 000 rpm, directamente a distancias que abarcan desde unos pocos kilómetros a más de 600.

Un sistema VSD submarino puede controlar múltiples compresores y bombas cercanos con un único cable de alimentación de largo alcance (*step-out*) de frecuencia fija a la estación.

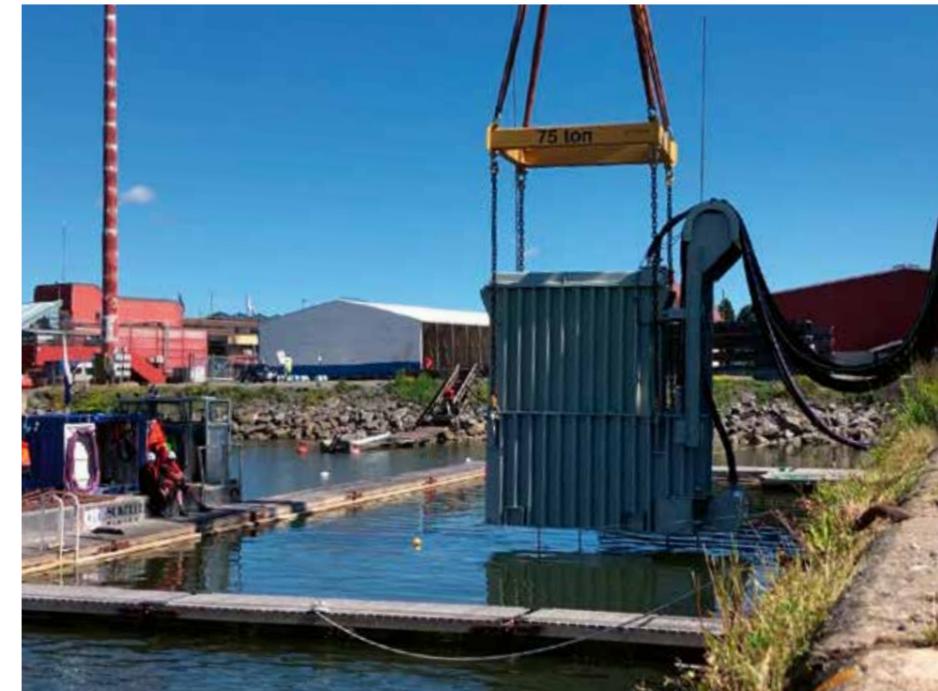
Todos los módulos del VSD están diseñados para funcionar en profundidades de hasta 3000 m o más, y han sido certificados según las normas API17F y SEPS 1002. Una de estas pruebas de cualificación incluía el funcionamiento de un módulo de alimentación con todos sus componentes electrónicos y eléctricos activados en un tanque a presión, a 345 bar. La célula convirtió energía hasta 1000 A durante 3000 horas en este entorno de alta presión. Este fue uno de los pasos clave para conseguir el nivel de preparación tecnológica (TRL) 4, un hito que abre la puerta a que los operadores de petróleo y gas empleen el equipo en los campos de producción.

El depósito para el VSD en su conjunto utiliza un diseño con compensación de la presión, que elimina eficazmente los límites en función de la profundidad. La compensación de la presión se consigue sumergiendo el hardware del accionamiento, incluido el transformador del accionamiento, en un líquido dieléctrico que también actúa como refrigerante. Los componentes eléctricos de los accionamientos, incluidos los condensadores, los semiconductores y la electrónica de control, se han diseñado con márgenes de seguridad perfeccionados, hardware redundante y resistencia a la presión, y sus materiales se han seleccionado para que sean compatibles con el líquido dieléctrico a fin de lograr un diseño general sumamente fiable. Los criterios de desarrollo de este sistema constituyen una filosofía de diseño que se basa (y también amplía) en la tecnología de transformadores submarinos de ABB. Estos transformadores robustos, que no precisan mantenimiento y que son excepcionalmente fiables se han instalado con éxito desde 1999. Por último, los nuevos VSD de ABB están equipados con un controlador y una interfaz de comunicación con la superestructura (*topside*). Estas dos unidades están alojadas en un módulo electrónico reemplazable debajo de la superficie.

Inmersión profunda

En 2019 se instalaron dos VSD en aguas poco profundas en un puerto de Vaasa, Finlandia, para someterse a pruebas. Como parte de un sistema de energía submarina completo, ambas unidades del convertidor se configuraron en paralelo para demostrar las máximas potencias que serían necesarias.

Durante la prueba en aguas poco profundas, los accionamientos funcionaron durante más de 3000 horas (unos 125 días) con un valor de 22 kV de entrada y una tensión de salida de 6,9-7,2 kV a diferentes niveles de potencia. Esto confirmó que todos los componentes del sistema VSD funcionaban correctamente juntos. Además, el sistema de redundancia incorporado en los VSD ha demostrado



03

02 Soluciones actuales y del futuro próximo para la configuración de componentes eléctricos clave en entornos submarinos. Cuando los VSD se colocan en el lecho marino, el resultado es una reducción masiva de la necesidad de cables del motor.

03 Los VSD, colocados tradicionalmente en tierra o en las instalaciones de superficie (*topside*), pueden no tardar mucho en funcionar en el fondo marino. Se instalaron dos VSD submarinos en las aguas poco profundas del puerto de Vaasa, en Finlandia. Después de elevar el segundo prototipo, el equipo se sometió sin problemas a una prueba durante más de 3000 horas.

Nota al pie

1) Consulte el artículo «La tecnología submarina de ABB está preparando los fondos marinos para un nuevo futuro energético», en la página 44.

que permite la tolerancia a fallos prevista al seguir funcionando después de desconectar intencionadamente (y volver a conectar más tarde) algunos de los módulos internos obedeciendo órdenes de la superestructura (*topside*).

Por qué la conversión submarina marca el ritmo

Como se ha sugerido anteriormente, el concepto submarino ofrece muchas ventajas en comparación con las soluciones convencionales de la superestructura. Como ilustra →02, esta última opción requiere que cada motor tenga su propio cable, que puede tener muchos kilómetros de longitud. Por otra parte, además de colocar el VSD en la superestructura, estas soluciones requieren un transformador elevador y un transformador reductor submarino para gestionar las pérdidas del cable [1].

Por otro lado, un sistema VSD submarino puede controlar múltiples compresores y bombas cercanos con un único cable de alimentación de largo alcance (*step-out*) de frecuencia fija a la estación. Varios de estos conceptos se han visto en grandes petroleros, incluido el «concepto de jardín submarino» [2] que se muestra en la página 44.

Por consiguiente, para los ingenieros era obvio que la utilización de los fondos marinos era el camino que debía seguirse →03. Pero se planteaba la cuestión siguiente: ¿qué tecnologías lo harían posible?

A pesar del entorno novedoso al que estarían expuestos los VSD y de la necesidad de una fiabilidad prácticamente impecable, enseguida quedó claro que

no todo debía desarrollarse desde cero. Para eliminar en gran medida los límites de la profundidad a la que debía desplegarse el VSD, los ingenieros del proyecto sabían que el dispositivo tendría que llenarse con un líquido dieléctrico similar al que se utiliza en cualquier transformador estándar, que proporcionara transmisión de presión interna, refrigeración y aislamiento eléctrico [3]. En tal situación, la carcasa del depósito puede seguir reglas de diseño similares a las de un depósito de transformador clásico, y no necesita tener la capacidad de soportar tanta presión como otros sistemas. En su lugar se utiliza un sistema submarino de ABB con compensador de dilatación para garantizar que la presión interna y externa sean siempre casi idénticas.

Era fundamental asegurarse de que la arquitectura térmica de todo el depósito garantizara el enfriamiento incluso a la máxima profundidad con la mayor fiabilidad.

Hasta este punto todo marchó a la perfección. Pero lo que entrañó especial dificultad fue adaptar los componentes eléctricos y mecánicos de un VSD, como los condensadores, los semiconductores, la electrónica local y el cableado, para soportar toda la presión ambiental a gran profundidad. Además, era esencial garantizar que todos los componentes fueran

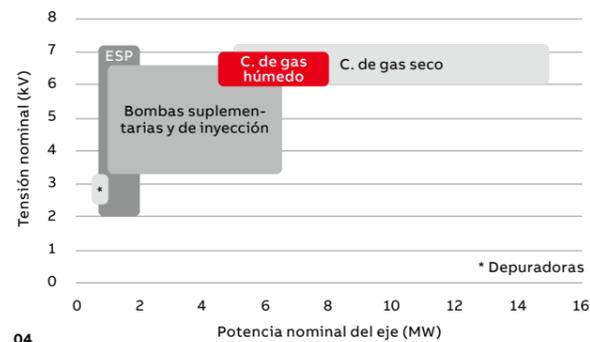
químicamente compatibles con el líquido dieléctrico y que la arquitectura térmica de todo el depósito garantizara el enfriamiento incluso a la máxima profundidad con la máxima fiabilidad. Estas fueron las principales novedades que se abordaron con éxito en el proyecto actual.

Fueron logros extremadamente significativos porque los esfuerzos anteriores para crear una tecnología VSD submarina exigían enormes buques de acero, exorbitantemente pesados, que soportaran la presión del agua, lo que causaba dificultades de refrigeración a pesar del entorno de agua fría [4].

Naturalmente, garantizar que todos los componentes se mantienen dentro de los parámetros de temperatura especificados es esencial para la fiabilidad y la seguridad del sistema. Con esto en mente, los ingenieros del proyecto idearon un concepto de enfriamiento pasivo que simplemente utiliza la interfaz entre las paredes de los depósitos y el agua de mar para disipar las pérdidas, con lo que se depende exclusivamente de la convección natural. En resumen, no se necesita una sola pieza móvil, que siempre es una posible causa de fallo.

Puesto que ningún diseño fijo de VSD podía cubrir todo, lo mejor era una topología modular de accionamiento basada en células.

Durante la prueba en aguas poco profundas se analizó el rendimiento de la refrigeración pasiva en la



04

totalidad del sistema. Los resultados demostraron que la distribución de la temperatura del sistema dentro del tanque seguía las expectativas de diseño, lo que significa que los componentes cruciales en relación con la temperatura podían mantenerse en un entorno de baja temperatura para lograr la máxima fiabilidad incluso con niveles de potencia más altos. De hecho, en el convertidor submarino los módulos electrónicos están situados en un entorno térmico casi ideal. El enfriamiento del aceite mantiene las temperaturas constantes y bajas. Este enfoque ha demostrado ser eficaz y funciona con una fiabilidad perfecta a cualquier temperatura, presión y salinidad del agua del mar, ya que las propiedades de esta en tales condiciones están bien establecidas [5].

Una respuesta modular a las demandas de energía

Otra dificultad importante a la que se enfrentaban los ingenieros del proyecto era la extensa gama de demandas de potencia y tensión →04 a la que tendrían que hacer frente los VSD, en especial en lo que respecta a las bombas de refuerzo (*booster*) y de inyección, los compresores de gas húmedo y seco, así como las aplicaciones más pequeñas, como las bombas sumergibles y depuradoras.

En colaboración con importantes socios del sector, los ingenieros del proyecto decidieron una base de diseño para los equipos submarinos de velocidad variable, que incluye las siguientes especificaciones eléctricas esenciales:

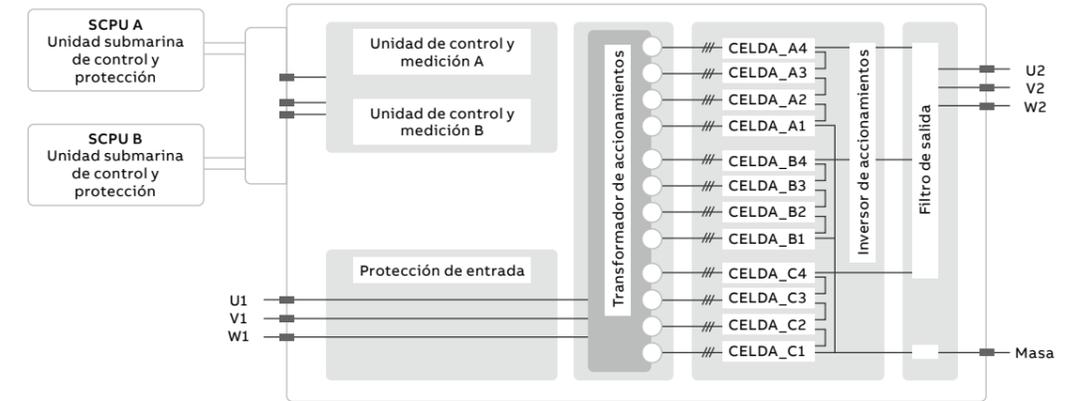
- Tensión de salida: 2,0-7,2 kV
- Potencia del eje del motor: 0,3-15 MW
- 0-200 Hz, y para los accionamientos < 5 MVA a 300 Hz frecuencia de salida fundamental
- Tensión de entrada: 11-33 kV
- Duración de la misión: 30 años
- Entorno de agua de mar: 3000 m, temperaturas del agua: 0-20 °C

Dada la amplitud de estas especificaciones, se hizo evidente que ningún diseño fijo de VSD podía abarcar todo. La respuesta fue que la solución óptima sería utilizar un sistema modular y, más concretamente, una topología de accionamiento basada en células. La topología elegida para el proyecto comprende un módulo básico de alimentación (PM), denominado célula. La tensión de cada célula, así como el número de células conectadas, determina la tensión de salida de un VSD a un motor. El tamaño de la célula, que está directamente relacionado con su valor nominal de la corriente, es también el valor nominal de la corriente del convertidor.

En las dos primeras unidades construidas, las células se diseñaron para un valor nominal de 1000 A. Para optimizar la fiabilidad, es necesario un cuidadoso equilibrio entre la tensión nominal de la célula y el

— 04 Aplicaciones objetivo para el VSD submarino y su rango de potencia y tensiones típicas del motor.

— 05 Componentes principales, configuración y esquema unilineal de un prototipo de convertidor submarino.



05

recuento de células para una determinada clase de tensión de salida. Una mayor tensión de la célula reduciría el recuento y la complejidad de las células, pero también reduciría la capacidad de tener células redundantes. El equilibrio también tiene en cuenta la complejidad del transformador de accionamiento.

Referencias

[1] Scheuer, G., Monsen, B., Rongve, K., Ronhovd, T.-O., Moen, T.-E., Virtanen y E. Ashmore, S.: «Subsea Compact Gas Compression with High-Speed VSDs and Very Long Step-Out Cables», en Proc. 6th IEEE PCIC Eur. Conf. Rec., 2009, pp. 163-173.

[2] Sneffjellå, Ø. H., «Subsea factory from an electrical perspective», IFEA, Subsea Kraft, 2014, Industriens forening for elektroteknikk og automatisering; 4-5 de febrero de 2014.

[3] E. Virtanen y A. Akdag, «Power below the waves», reportaje especial de ABB Review: Transformadores, pp. 33-36, noviembre 2012.

[4] Hazel, T., Baerd, H. H., Legeay, J.J. and Bremnes y J. J., 2013; «Taking Power Distribution Under the Sea», IEEE Industry Applications Magazine; 19,5:58-67.

[5] Lendenmann, H., Laneryd, T., Virtanen, E., Cagienard, C., Wagner, T. y Missing, K., «Shallow Water Testing of 9 – 12 MVA Variable Speed Drive for Subsea Installation», Off-Shore technology conference, 2019.

La propia celda consta de dos semipuentes de transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) y un conjunto de unidades condensadoras para el enlace de CC. Los controladores de puerta IGBT se alimentan directamente desde el enlace de CC, con lo que se evitan las fuentes de alimentación de control aisladas de alta tensión. La comunicación a la célula se realiza por fibra óptica desde una unidad de control y medida situada en el interior del depósito.

Cada celda está equipada con dispositivos mecánicos (seccionadores, bypass) diseñados para separarla del circuito de alimentación principal. Esto da lugar a un accionamiento tolerante a fallos, que puede seguir en funcionamiento incluso si falla la propia célula. El nivel de redundancia puede seleccionarse en función del número de celdas instaladas en una unidad de VSD que superen el mínimo necesario para alcanzar la tensión de salida. En consecuencia, la célula no solo es un elemento clave del convertidor submarino, sino también una subunidad funcional completa y, por tanto, una unidad muy significativa para la cualificación junto con todos sus subcomponentes.

La célula no solo es un elemento clave del convertidor submarino, sino también una subunidad funcional completa.

Como se indica en →05, el inversor, con su conjunto de células suministrado por el transformador de accionamiento, se complementa con un filtro de salida y una unidad de protección de entrada diseñados para limitar los transitorios a niveles aceptables para los conectores, los cables y los motores, al tiempo que ofrece protección contra sobretensiones dinámicas en los componentes internos. Estas tres unidades tienen una flexibilidad inherente, de manera que los ajustes específicos del proyecto se diseñan para trabajar sin necesidad de recualificación, ya que solo se reorganizan los subcomponentes internos idénticos. Gracias a este enfoque, se puede conseguir toda la gama de tensiones para un proyecto determinado seleccionando simplemente el número adecuado de unidades cualificadas y montándolas como un accionamiento. Para corrientes de salida más elevadas, hay dos unidades del convertidor completas –cada una diseñada para conexión directa en paralelo–, que pueden alcanzar potencias de hasta 18 MVA.

En general, las pruebas en aguas poco profundas confirmaron que el VSD submarino de ABB y todos sus componentes, incluida la redundancia y la refrigeración pasiva, funcionaban correctamente juntos hasta un nivel de 1000 A. En consecuencia, el sistema ha alcanzado su objetivo: nivel 4 de preparación tecnológica y está listo para su funcionamiento en el suelo marino. •



01

RENDIMIENTO EXTREMO

A200-H: la nueva referencia en turbocompresión de una sola etapa

Para llenar el vacío entre el turbocompresor de una sola etapa A100-H y el turbocompresor de dos etapas Power2®, ABB ha desarrollado el A200-H. Con un coeficiente de presión de hasta 6,5 y una eficiencia máxima superior al 69 %, el A200-H permite la turbocompresión de una sola etapa en motores de gas de alta velocidad con una presión media efectiva al freno de 24 bar.

— 01 El A200-H, que llena el vacío entre los turbocompresores de una y dos etapas, aporta nuevas capacidades a una amplia gama de aplicaciones, como las centrales eléctricas marinas.

— 02 Requisitos relativos al coeficiente de presión en motores de gas de alta velocidad y mezcla pobre.

— **Gerald Müller**
Antje Hertel
Franco Domenig
Martin Seiler
Florian Maurer
ABB Turbo Systems
Baden, Suiza

gerald.mueller@ch.abb.com
antje.hertel@ch.abb.com
franco.domenig@ch.abb.com
martin.a.seiler@ch.abb.com
florian.maurer@ch.abb.com

Los motores de gas de alta velocidad y mezcla pobre, impulsados por la demanda de una generación de energía descentralizada, flexible, rentable y ecológica, se han convertido en uno de los pilares del panorama energético moderno. En los últimos 20 años se ha observado que cada tres años, aproximadamente, se produce un aumento de 1 bar en la presión media efectiva al freno (bmep) de estos motores, mientras que la eficiencia eléctrica aumenta significativamente durante el mismo período. Esta evolución, a su vez, ha hecho necesario mejorar el coeficiente de presión y la eficiencia del turbocompresor.

Con su actual modelo de turbocompresor de una etapa, el A100-H, ABB definió el límite vanguardista para la turbocompresión de una etapa, con coeficientes de presión de hasta 5,8 y una eficiencia de hasta el 66 % [1]. El A100-H admite motores de gas de mezcla pobre con una bmep de hasta 22 bar. Para valores de bmep superiores se planteó la turbocompresión avanzada de dos etapas, que se introdujo con éxito en el mercado de la generación de energía basada en motores de gas hace unos 10 años y que ha demostrado resultados de funcionamiento convincentes desde entonces. El sistema de dos etapas Power2® de ABB, por ejemplo, ofrece reservas excesivas de coeficiente de presión y una eficiencia superior al 73 %, pero a costa de mayor complejidad, peso y coste, en comparación con las soluciones de

una sola etapa. Para motores de gas que funcionan con una bmep de entre 22 y 24 bar, la turbocompresión de dos etapas es una solución que puede resultar demasiado compleja, y la plena utilización del potencial de Power2 requiere un nivel de bmep superior a 24 bar.

— Para llenar el vacío entre la turbocompresión de una y dos etapas, ABB ha desarrollado el nuevo A200-H.

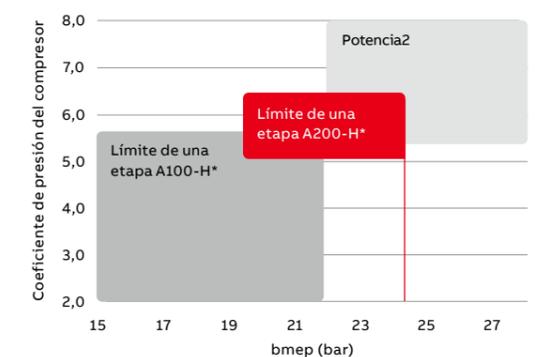
Para llenar el vacío entre la turbocompresión de una y dos etapas y permitir a los fabricantes de motores de gas de alta velocidad continuar con los trabajos para aumentar la densidad de potencia o apoyar aplicaciones de altitud elevada, ABB ha desarrollado el nuevo A200-H, con un coeficiente de presión de hasta 6,5 y una eficiencia máxima del turbocompresor superior al 69 % →01, 02. El A200-H permite la turbocompresión de una sola etapa en motores de gas de alta velocidad con una bmep de aproximadamente 24 bar y, al mismo tiempo, el aumento de la eficiencia del motor en comparación con el A100-H.

Eficiencia del turbocompresor

→03 se muestra que un mayor coeficiente de presión requiere una mayor eficiencia de turbocompresión para mantener constante la caída de presión en todo el motor (la presión en el receptor menos la presión antes de la turbina). Estos requisitos del motor fueron la causa de que los objetivos de desarrollo del A200-H evolucionaran: mayor capacidad del coeficiente de presión y, al mismo tiempo, mayor eficiencia de turbocompresión, en comparación con la actual serie de turbocompresores A100-H.

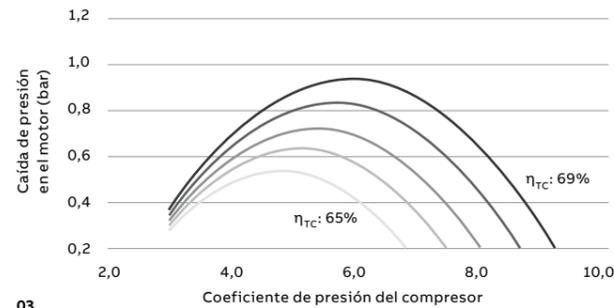
Concepto de etapa del compresor

El caudal específico del turbocompresor debía optimizarse para cumplir los requisitos de un elevado

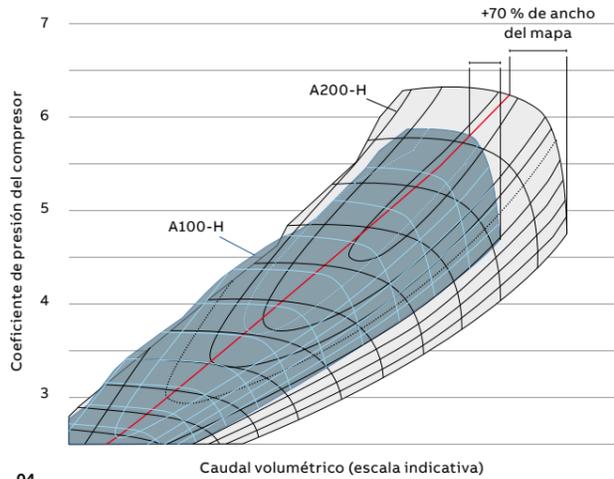


*Turbocompresor base cumple: 500 m / 30 °C (se requieren reservas adicionales para la altitud)

02



— Línea de funcionamiento
— De izquierda a derecha: valores crecientes de rpm de A100-H
— Línea de sobrecarga
— De izquierda a derecha: valores crecientes de rpm de A200-H
— Línea de estrangulamiento
— Isla de eficiencia de A100-H
— Isla de eficiencia de A200-H



coeficiente de presión y un alto nivel de eficiencia. Se dio libertad para hacer algunas dimensiones más grandes que las del A100-H. No obstante, la configuración de una sola etapa sigue ofreciendo simplicidad y compacidad en comparación con la solución de turbocompresión de dos etapas. El uso de una etapa del compresor con un impulsor de aleación de aluminio permite aprovechar mejor los procesos de fabricación eficientes con los que se consiguen los altos niveles de calidad necesarios. Con respecto al desafiante objetivo termodinámico, el impulsor de aleación de aluminio debe ofrecer intervalos de sustitución de 40 000 horas de funcionamiento (que pueden superarse explotando una solución digital, véase más adelante).

Optimización del mapa del compresor

En →04 se muestra que el coeficiente de presión que puede alcanzarse para el funcionamiento nominal del motor es muy superior a 6 en el A200-H. El funcionamiento estable del motor requiere un margen suficiente para la línea de funcionamiento en relación con la línea de sobrecarga del compresor. En consecuencia, el mapa del compresor no solo se optimiza para satisfacer los requisitos de eficiencia, sino también con respecto a la anchura del mapa. Se prestó especial atención al intervalo de funcionamiento, con unos coeficientes de presión de

hasta 6,5, posibles gracias a la aplicación de una tecnología actualizada de mejora de la anchura del mapa [2]. Se logró una mejora del 70 % en la anchura, en comparación con la etapa de referencia del A100-H.

En consonancia con el concepto probado para los turbocompresores de ABB, el ajuste del caudal necesario será posible a través de una serie de acabados de la rueda del compresor.

Cualificación mecánica del compresor

La etapa del compresor está diseñada mecánicamente para soportar excitaciones de los modos de vibración en el rango operativo. Los análisis de elementos finitos (FE) junto con el profundo conocimiento de ABB sobre el comportamiento de las vibraciones de los álabes permitieron adoptar medidas de diseño específicas para reducir amplitudes de resonancia potencialmente críticas o para que desaparecieran las excitaciones. El resultado es un diseño robusto por lo que respecta a la elevada resistencia a la fatiga, pero con un número mínimo de bucles de cualificación. Los análisis FE también permitieron la colocación selectiva de extensómetros durante el procedimiento de cualificación →05.

La configuración de una sola etapa sigue siendo más simple y compacta que en la solución de turbocompresión de dos etapas.

Etapas de la turbina

Se ha desarrollado una nueva etapa de la turbina para cubrir los elevados coeficientes de presión del compresor, de hasta 6,5 con un alto rendimiento de la turbina. La turbina se ha adaptado al compresor para obtener la máxima eficiencia posible del turbocompresor y cumplir los requisitos mecánicos. Todos los componentes de la turbina—entrada de gas, anillo de tobera, rueda de turbina y difusor— se diseñaron de acuerdo con el intervalo de caudal y los coeficientes de presión necesarios. Para garantizar un alto rendimiento se utilizó ampliamente la dinámica computacional de fluidos (CFD) en 3D, y la integridad mecánica para las altas velocidades de las operaciones estaba garantizada por el análisis FE. A pesar de las altas velocidades, se pueden cumplir los criterios de vida útil necesaria de los componentes y los intervalos de sustitución recomendados para aplicaciones de motores de gas.

En combinación con el compresor de alta presión, se podría alcanzar una eficiencia del turbocompresor superior al 69 % en un demostrador tecnológico →06.

Diseño de la carcasa

Se renunció a realizar un diseño informal para las conexiones de aire y gas, y se optó por concentrarse en el alto nivel de rendimiento que se necesitaba. Con este

— 03 Diferencia de presión entre cilindros en función de la eficiencia de la turbocompresión y el coeficiente de presión.

— 04 Mayor anchura del mapa del compresor A200-H en puntos previstos de funcionamiento a plena carga. En las «islas de eficiencia» el funcionamiento del motor será el óptimo.

— 05 Prueba de fatiga de ciclos altos con las medidas del extensómetro.

nuevo grado de libertad, las conexiones de aire y gas se reubicaron y ampliaron. Una ventaja de esta reconfiguración fue una mejor accesibilidad a los puntos de conexión del turbocompresor y, en consecuencia, un manejo considerablemente más fácil durante el montaje y el mantenimiento.

Con vistas a futuras aplicaciones de nivelación de cargas punta, la optimización de la tensión de la carcasa tuvo que tenerse en cuenta en una fase inicial del diseño. Se utilizaron herramientas de FE avanzadas para, p. ej., modelizar una envoltura perfeccionada de la turbina para arranques del motor que producen rápidamente altas temperaturas de entrada de gas, y para garantizar la admisión de un gran número de ciclos de arranque y parada.

Con vistas a futuras aplicaciones de nivelación de cargas punta, la optimización de la tensión de la carcasa tuvo que tenerse en cuenta en una fase inicial del diseño.

Además, la experiencia con el modelo A100-H había demostrado que montar turbocompresores más grandes en la consola del motor sería más fácil con sujeción hidráulica o con tuercas de sujeción. Por consiguiente, los nuevos turbocompresores A200-H ofrecen ambas opciones →07.

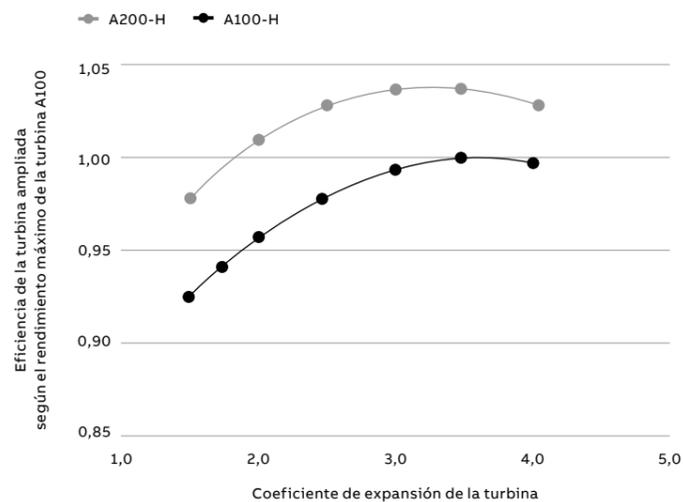
Sistema de ejes y cojinetes

Al igual que sucede con los turbocompresores radiales actuales, el uso de cojinetes lisos, apoyados en un amortiguador de aceite de película delgada situado en la brida de los cojinetes es la opción más razonable por lo que respecta al coste y la fiabilidad operativa de la nueva generación de turbocompresores A200-H. Para garantizar un montaje fácil con el menor número posible de piezas, los cojinetes de empuje principales y auxiliares están situados en el lado del compresor.

La serie A200-H permite a los clientes, por primera vez, elegir entre dos conceptos de cojinetes para el mismo turbocompresor. El A200-H incluye un diseño patentado del módulo que soporta los cojinetes lisos de ABB, así como los cojinetes de bolas de alta eficiencia desarrollados recientemente →08. A carga parcial, la pérdida de potencia en la opción de cojinetes

05





06

de bolas es alrededor del 15 % de la opción de cojinetes lisos, lo que la convierte en la elección perfecta para clientes con modos de funcionamiento de elevada transitoriedad. Las simulaciones termodinámicas transitorias, basadas en un motor de gas de 2 MW de uso generalizado y en diferentes conceptos de propulsión, mostraron una reducción del tiempo a plena carga de alrededor del 15 % (arranque en caliente y arranque en frío) simplemente cambiando el sistema de cojinetes lisos a cojinetes de bolas.

Las capacidades digitales del A200-H ofrecen más flexibilidad en cuanto a la evaluación de las necesidades de mantenimiento del turbocompresor.



07

Ambos diseños de cojinetes están conectados directamente al circuito de aceite de motor estándar. No se necesitan medidas adicionales para la opción de cojinetes de bolas, pero el consumo de aceite y la disipación de calor en el aceite se reducen a la mitad en comparación con el mismo turbocompresor equipado con cojinetes lisos. El diseño con cojinetes de bolas y un solo módulo facilita la actualización desde la versión de rodamientos lisos.

Menores costes de ciclo de vida útil con capacidades digitales

La vida útil del rotor depende de la velocidad y la temperatura del turbocompresor, así como del número de ciclos de carga. En el pasado, se contemplaron determinadas condiciones ambientales (con desviaciones definidas) y un perfil de funcionamiento, y se adoptó un enfoque conservador respecto a los valores admisibles de los parámetros operativos. No obstante, ahora va en aumento el funcionamiento cíclico, p. ej., para la nivelación de cargas punta. Este régimen somete los motores y turbocompresores a un número mucho mayor de ciclos de arranque y parada que en el pasado. No solo los ciclos de carga mecánica, sino también las intensas fluctuaciones de temperatura tienen un gran impacto de desgaste.

Las capacidades digitales de la nueva serie A200-H ofrecen ahora más flexibilidad en cuanto a la evaluación de las necesidades de mantenimiento del turbocompresor y la ampliación de los límites de funcionamiento más allá de las recomendaciones actuales. La supervisión de la velocidad y las temperaturas del turbocompresor, los ciclos de arranque y parada, las condiciones ambientales y otros parámetros se introducirán con sensores integrados en el turbocompresor o con acceso a los datos del sistema del grupo electrógeno. El acceso a los datos de funcionamiento específicos de la instalación permite una evaluación de la vida de los componentes basada en la exposición, es decir, una revisión del consumo a lo largo de la vida útil de los componentes del rotor y una comprobación de las piezas estáticas calientes que se basa en el historial de funcionamiento.

Un análisis en línea de los datos recogidos permite evaluar los componentes del eje y del rotor con cada inspección, p. ej., después de cada intervalo de 20 000 horas de funcionamiento en aplicaciones de gas natural. Si el análisis de los datos de funcionamiento lo permite, el cliente obtendrá un «visto bueno» para el siguiente intervalo de inspección con garantía completa. En el momento de la inspección correspondiente a las 40 000 horas, los clientes pueden optar por recibir una extensión del intervalo de sustitución recomendado más allá de las 40 000 horas que impone el enfoque rígido y convencional que se aplica sin soporte digital continuo. Asumiendo que la vida útil completa del motor es de 120 000 horas de funcionamiento, con una revisión general importante durante ese período, la posible extensión del intervalo



08

06 Eficiencia del turbocompresor: A200-H frente a A100-H.

07 Turbocompresor A240-H con tuercas de sujeción.

08 Prueba del diseño del módulo de cojinetes con uno de los prototipos iniciales en el banco de pruebas de ABB.

de sustitución del rotor permitirá al operador hacer funcionar el turbocompresor con solo dos rotores a lo largo de la vida útil del motor, es decir, cambiar el rotor solo una vez, con lo que el coste se reduce.

En el caso de piezas estáticas calientes con carga cíclica de fatiga termomecánica (TMF), la adquisición de datos operativos y la correlación con el comportamiento relativo al desgaste de las piezas proporciona nuevas perspectivas y amplía significativamente la experiencia de base existente. Un nuevo algoritmo de análisis y las últimas herramientas de optimización en el proceso de diseño permitirán realizar otros diseños optimizados para TMF de carcacas y otras partes propensas a las cargas termomecánicas intensas. Las futuras aplicaciones de nivelación de cargas punta se beneficiarán de las nuevas ofertas digitales con límites de aplicación más amplios y costes del ciclo de vida considerablemente menores.

Los clientes de motores de alta velocidad están deseosos de explorar todo el potencial de la nueva serie, y los primeros prototipos del A240-H pronto estarán listos para probarlos.

Contar con las soluciones digitales para el A200-H aumenta las oportunidades y el valor añadido para los operadores que ya tienen el turbocompresor. Algunos ejemplos de las nuevas características que se introducirán gradualmente con la nueva serie son: programación de mantenimiento, control de tendencias de rendimiento, gestión de flotas y asesoramiento puntual sobre actualizaciones.

Calendario y ámbito de aplicación

La serie de turbocompresores A200-H de última generación de ABB representa un innovador elemento de referencia en la turbocompresión de alta presión y una sola etapa. El A200-H responde a las demandas de los fabricantes y operadores de motores de alta velocidad relativas al aumento de la densidad de potencia y la eficiencia del sistema, y la reducción de los costes específicos del ciclo de vida. Los turbocompresores A200-H ofrecen coeficientes de presión del compresor de hasta 6,5 y una eficiencia del turbocompresor superior al 69 %.

Se han desarrollado nuevas etapas del compresor y la turbina para garantizar un excelente nivel de rendimiento, fiabilidad mecánica y una vida útil adecuada de los componentes en unas condiciones exigente de funcionamiento a plena carga. El diseño del turbocompresor cumple requisitos exigentes, como los relativos al funcionamiento cíclico, la minimización de la pérdida de eficiencia, la seguridad de contención y la dinámica del rotor.

Las capacidades digitales del A200-H ofrecen más flexibilidad en la evaluación de las necesidades de mantenimiento de los turbocompresores, así como de la vida útil de los componentes. Los datos específicos de instalación y funcionamiento facilitan una evaluación basada en la exposición y la posibilidad de reducir significativamente los costes del ciclo de vida. Los clientes de motores de alta velocidad están deseosos de explorar todo el potencial de la nueva serie, y los primeros prototipos del A240-H se pusieron a prueba a finales de 2019. Otros tres turbocompresores más pequeños, A238-H, A234-H y A231-H, completarán la nueva serie de turbocompresores. Está previsto que su producción comience en 2021-2022. •

Referencias

[1] D. Wunderwald, et al., «The New A100-H Single-Stage Turbocharger Series for High-Speed Engines», MTZ worldwide, número 07-08, vol. 69, pp. 9-14, 2008.

[2] L. Galloway, et al., «An Investigation of the Stability Enhancement of a Centrifugal Compressor Stage Using Porous Throat Diffuser», Journal of Turbomachinery, 140(1), 2017.

DESMITIFICACIÓN DE TÉRMINOS TÉCNICOS

Fabricación aditiva

Conversión de datos en objetos físicos tridimensionales para personalizar masivamente productos y características.



Chau Hon Ho
Corporate Research
Baden-Dättwil, Suiza

chau-hon.ho@
ch.abb.com

La fabricación aditiva, también conocida como impresión 3D, es un proceso por el que el software de una impresora corta un modelo digital en capas de dos dimensiones y lo convierte después en un conjunto de instrucciones en lenguaje de máquina que la impresora ejecuta; en concreto, convierte los datos en un objeto físico tridimensional añadiendo material capa por capa. En comparación con las tecnologías tradicionales de fabricación sustractiva (taladrado o mecanizado) o conformativa (moldeo por inyección), la impresión 3D es una forma esencialmente distinta de producir piezas.

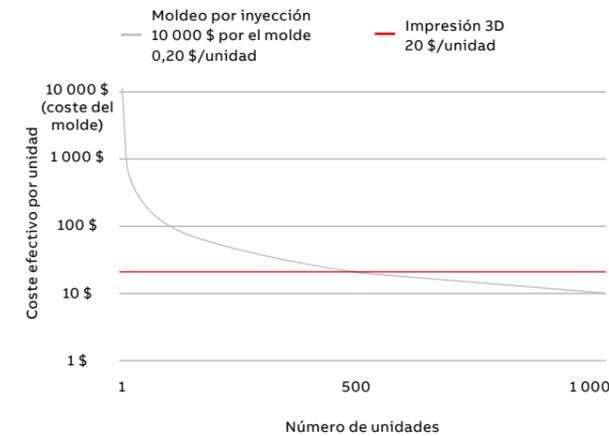
La impresión 3D permite la fácil fabricación de formas complejas, muchas de las cuales no es posible hacerlas con ningún otro método de fabricación. También permite diseñar características personalizadas del producto, como conducción o resistencia térmica optimizadas, alta resistencia o rigidez e incluso

biocompatibilidad. Por otra parte, los materiales pueden rellenarse con metal, cerámica, madera o partículas de grafeno, o reforzarse con fibra de carbono. Lo que se obtiene son piezas con propiedades únicas adecuadas para aplicaciones específicas.

Bajo coste, crecimiento rápido

El coste de una pieza impresa en 3D depende de la cantidad y el tipo de material utilizado (plástico, cerámica, metal), el proceso de impresión (polimerización, unión física, fusión), el tiempo de impresión y el tiempo necesario para el tratamiento posterior →01. Aparte de estos factores, el único coste asociado a la modificación de un diseño existente es el tiempo necesario para modificar su modelo digital en 3D. De modo que cada artículo puede personalizarse para satisfacer necesidades específicas del cliente, sin que ello afecte a los costes de fabricación.

En cambio, dado que el precio por unidad disminuye solo ligeramente en cantidades más elevadas, la impresión 3D no puede competir con los procesos de fabricación tradicionales cuando se trata de series de producción muy grandes →02. Por consiguiente, las economías de escala no son realmente aplicables en este caso. No obstante, teniendo en cuenta los recientes avances en la automatización de la impresión 3D y el hecho de que algunos materiales se están convirtiendo en objetos de consumo generalizado, el umbral de rentabilidad está cambiando constantemente hacia series de producción mayores.



02

01 Aunque la impresión 3D es una tecnología relativamente nueva, muchos procesos avanzados que cubren una amplia gama de materiales ya están disponibles.

02 La impresión en 3D es particularmente competitiva en términos de costes cuando se requieren prototipos o lotes pequeños.

Otros factores que cabe esperar que repercutan en la impresión 3D y reduzcan sus costes son el desarrollo de flujos de trabajo y operaciones totalmente integrados, y la aplicación de la inteligencia artificial a los diseños generativos, la optimización de procesos, la predicción de la calidad y la corrección automática durante la impresión, factores que probablemente abran la puerta a nuevos modelos de negocio.

Los recientes avances en la automatización de la impresión 3D están desplazando el umbral de rentabilidad a series de producción mayores.

Con la vista puesta en el futuro

La adopción de la impresión 3D, impulsada por la mayor rapidez de las impresoras, la reducción de los costes de material y la demanda de productos cada vez más individualizados, ya ha alcanzado el punto crítico y se está convirtiendo en una tecnología de producción aceptada. Por ejemplo, en 2015 la industria de audífonos en los Estados Unidos adoptó en un 99 % la fabricación aditiva en menos de 500 días.

Wohler's Associates [1] espera que el sector de la impresión 3D a escala mundial supere los 15 000 millones de dólares en ingresos este año (2020), los 24 000 millones de dólares en 2022 y los 36 000 millones de dólares en 2024. ●

Referencia

[1] Wohlers Associates, «Wohlers Report 2019», disponible en: <https://wohlersassociates.com/2019report.htm> [Página consultada 28.11.2019].

	Tecnología			SL: Estéreo-litografía PJ: Chorreado de polímeros BJ: Chorreado de aglomerante SLM: Fusión selectiva con láser EBM: Fusión por haz de electrones LMD: Deposition directa de metal por láser FDM: Modelado por deposición fundida
	Polimerización	Unión física	Fusión	
Metal		BJ	SL, EB, LM	
Cerámica			SL, EB, LM	
Plástico	SL, PJ		FD	

La elección de la tecnología de impresión depende de la aplicación

**Suscripción****Cómo suscribirse**

Si desea suscribirse, póngase en contacto con el representante de ABB más cercano o suscríbese en línea en www.abb.com/abbrev

ABB Review se publica cuatro veces al año en inglés, francés, alemán, chino y español. ABB Review es una publicación gratuita para todos los interesados en la tecnología y los objetivos de ABB.

Manténgase informado

¿Se ha perdido algún número de ABB Review? Regístrese para recibir un aviso por correo electrónico en abb.com/abbrev y no se perderá ninguno.



Cuando se registre para recibir este aviso, recibirá también un correo electrónico con un enlace de confirmación. No olvide confirmar el registro.

Consejo editorial**Consejo de redacción**

Bazmi Husain
Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Adrienne Williams
Senior Sustainability
Advisor

Christoph Sieder
Head of Corporate
Communications

Reiner Schoenrock
Technology and Innovation

Roland Weiss
R&D Strategy Manager
Group R&D and Technology

Andreas Moglestue
Chief Editor, ABB Review
andreas.moglestue@ch.abb.com

Editorial
ABB Review es una publicación de I+D y tecnología del Grupo ABB.

ABB Switzerland Ltd.
ABB Review
Segelhofstrasse 1K
CH-5405 Baden-Daettwil
Suiza
abb.review@ch.abb.com

La reproducción o reimpression parcial está permitida a condición de citar la fuente. La reimpression completa precisa del acuerdo por escrito del editor.

Editorial and copyright ©2019
ABB Switzerland Ltd.
Baden/Suiza

Printer
Vorarlberger
Verlagsanstalt GmbH
6850 Dornbirn/Austria



Diseño
Publik. Agentur für
Kommunikation GmbH
Ludwigshafen/Alemania

Ilustraciones
Konica Minolta
Marketing Services
Londres
Reino Unido

Declaración de exención de responsabilidad

Las informaciones contenidas en esta revista reflejan el punto de vista de sus autores y tienen una finalidad puramente informativa. El lector no deberá actuar sobre la base de las afirmaciones contenidas en esta revista sin contar con asesoramiento profesional. Nuestras publicaciones están a disposición de los lectores sobre la base de que no implican asesoramiento técnico o profesional de ningún tipo por parte de los autores, ni opiniones sobre materias o hechos específicos, y no asumimos responsabilidad alguna en relación con el uso de las mismas.

Las empresas del Grupo ABB no garantizan ni aseguran –ni expresa ni implícitamente– el contenido o la exactitud de los puntos de vista expresados en esta revista.

ISSN: 1013-3119

abb.com/abbrev

Edición para tablet

A finales de 2018 se suspendió la producción en la versión para tablet de ABB Review (para iOS y Android). Se recomienda a los lectores de las versiones para tablet que utilicen en su lugar las versiones en pdf o web. abb.com/abbrev



Suscríbase y manténgase informado

¿Se ha perdido algún número de ABB Review? ¿Sabía que puede inscribirse para recibir una alerta por correo electrónico cuando se publica una nueva edición en línea, o solicitar que la edición impresa se le envíe directamente a usted?

Puede encontrar estas opciones en el portal web de ABB Review, así como una selección de los artículos más recientes y una biblioteca en la que puede buscar contribuciones presentes y pasadas, que se remontan a 1996 (y una selección de artículos que se remontan a los inicios de la revista en 1914).



www.abb.com/abbreview

